



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ANÁLISE DO ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA DE BELO HORIZONTE

Sarah Cristina Freitas Silveira Cabral

Belo Horizonte

2023

Sarah Cristina Freitas Silveira Cabral

ANÁLISE DO ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA DE BELO HORIZONTE

Monografia de TCC apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II ministrada no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como forma de obtenção de créditos parciais bem como continuação na disciplina.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Keizo Odan.

Belo Horizonte

2023

ATA Nº 11 / 2023 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.060070/2023-92

Belo Horizonte-MG, 06 de dezembro de 2023.

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

SARAH CRISTINA FREITAS SILVEIRA CABRAL

ANÁLISE DO ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA DE BELO HORIZONTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 06 de dezembro de 2023

Banca examinadora:

Nome completo do Presidente da Banca Examinadora
Prof. DSc. Frederico Keizo Odan ? CEFET-MG ? Orientador

Nome completo da 1ª Examinadora
Profa. DSc. Lilia Maria de Oliveira ? CEFET-MG

Nome completo da 2ª Examinadora
Profa. DSc. Luciana Peixoto Amaral ? CEFET-MG

(Assinado digitalmente em 10/12/2023 15:18)
FREDERICO KEIZO ODAN
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 2092847

(Assinado digitalmente em 10/12/2023 18:07)
LILIA MARIA DE OLIVEIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 1815815

(Assinado digitalmente em 07/12/2023 15:19)
LUCIANA PEIXOTO AMARAL
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCTA (11.55.03)
Matrícula: 1808233

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por me conduzir e me sustentar durante toda a graduação.

Em especial, agradeço ao meu marido, Tácio, por ter sido um grande companheiro, me apoiando em todas as situações e não me deixando desistir frente as dificuldades.

Agradeço aos meus pais, Wendel e Verônica por sempre estarem ao meu lado e me apoiarem nesta jornada.

À minha irmã Esther, que de maneira tão doce me consolou diante das dificuldades e ao meu irmão Mateus que sempre me encorajou a prosseguir.

À minha sogra e meu sogro, Dorinha e Joaci, que me fortaleceram em suas orações e cuidado.

Aos meus familiares e amigos que me colocaram em suas orações.

Agradeço imensamente ao meu orientador Frederico Keizo Odan pela paciência, pelos conhecimentos compartilhados e pelo apoio durante esta pesquisa e a graduação.

Ao CEFET-MG pelo ensino público de qualidade e a todos os professores que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

CABRAL, Sarah Cristina Freitas Silveira. **Análise do Índice de Segurança Hídrica de Belo Horizonte**. 2023. 70p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

A demanda por água pode exceder a disponibilidade hídrica, seja devido a eventuais secas, ou devido ao crescimento dessa demanda. No entanto, esse cenário pode ser minimizado por meio da gestão e planejamento de recursos hídricos. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a vulnerabilidade hídrica, uma vez que pode desempenhar um papel crucial na orientação da gestão sustentável dos recursos hídricos, contribuindo para a identificação de desafios e desenvolvimento de estratégias destinadas a fortalecer a resiliência desses recursos. Apesar da abundância de recursos hídricos no Brasil, o país, como muitos outros, enfrenta um certo nível de vulnerabilidade hídrica, evidenciando a necessidade de monitorar os riscos associados à escassez de água. Na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, em Minas Gerais, o município de Belo Horizonte desempenha um papel significativo nesta bacia, sendo tanto de dependência quanto de impacto para esse recurso, visto que a capital mineira possui uma parcela expressiva da população total da bacia. A análise da vulnerabilidade do meio é fundamental para compreender as deficiências e fragilidades dos recursos hídricos, sendo considerada como um complemento essencial à segurança hídrica. Nesse contexto, o índice de segurança hídrica foi utilizado como uma ferramenta relevante para mostrar um panorama dos riscos associados aos usos das águas no município. Os resultados obtidos neste estudo, para 2035, revelam que para melhorar o Índice de Segurança Hídrica (ISH) na dimensão humana de Belo Horizonte, classificado grau 2, baixa segurança, com Risco Alto de vulnerabilidade, é necessário buscar melhorias na disponibilidade hídrica e medidas para redução da demanda de água. Concluiu-se que o município é deficitário em termos de recursos hídricos, pois as demandas da imensa população e das demais atividades superam a disponibilidade hídrica do seu território. Esse déficit é compensado pela utilização de mananciais externos ao município, sem os quais seria necessário racionamento de água para minimizar a falta de água.

Palavras-chave: Vulnerabilidade Hídrica. Belo Horizonte. Índice de Segurança Hídrica. Dimensão Humana.

ABSTRACT

CABRAL, Sarah Cristina Freitas Silveira. **Analysis of the Water Security Index of Belo Horizonte**. 2023. 70 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

The demand for water can exceed the availability of water, either due to droughts or the growth in demand. However, this scenario can be minimized through water resource management and planning. Therefore, this work aims to analyze water vulnerability, since it can play a crucial role in guiding the sustainable management of water resources, contributing to the identification of challenges and the development of strategies aimed at strengthening the resilience of these resources. Despite the abundance of water resources in Brazil, the country, like many others, faces a certain level of water vulnerability, highlighting the need to monitor the risks associated with water scarcity. In the Rio das Velhas Hydrographic Basin in Minas Gerais, the municipality of Belo Horizonte plays a significant role in this basin, both in terms of dependence and impact on this resource, since the capital of Minas Gerais has a significant share of the basin's total population. Analyzing the vulnerability of the environment is fundamental to understanding the deficiencies and weaknesses of water resources, and is considered an essential complement to water security. In this context, the water security index was used as a relevant tool to provide an overview of the risks associated with water use in the municipality. The results obtained for 2035 in this study reveal that to improve Belo Horizonte's Water Security Index (ISH) in the human dimension, classified as grade 2, low security, with a High Risk of vulnerability, it is necessary to seek improvements in water availability and measures to reduce water demand. It was concluded that the municipality is deficient in terms of water resources, as the demands of the immense population and other activities exceed the water availability of its territory. This deficit is met with water sources external to the municipality, without which water rationing would be necessary to minimize water shortages.

Keywords: Water Vulnerability. Belo Horizonte. Water Security Index. Human Dimension.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 3.1 – Desenho esquemático do Índice de Segurança Hídrica (ISH).	25
Figura 3.2 - Dimensões e Indicadores do ISH.....	26
Figura 3.3 - Localização da Bacia do Rio das Velhas em Minas Gerais.....	28
Figura 3.4 - Regiões fisiográficas da Bacia do Rio das Velhas.....	29
Figura 3.5 – Relação das UTEs com as regiões fisiográficas da Bacia do Rio das Velhas	30
Figura 3.6 - Uso do solo na Bacia do Rio das Velhas.	31
Figura 3.7 – Quadro da distribuição das classes de uso e cobertura do solo na Bacia do Rio das Velhas.....	32
Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.	33
Figura 4.2 - Quadro de Intervalos de Classe dos Graus de Segurança Hídrica.....	35
Figura 4.3 – Quadro de resumos dos planos de informação para construção dos indicadores.	35
Figura 4.4 - Quadro do grau de segurança municipal em função da população urbana em risco.	36
Figura 4.5 - Quadro do grau de segurança municipal em função da cobertura da rede de abastecimento.	37
Figura 4.6 – Tabela de exemplificação de Disp/Dem.	39
Figura 5.1 - Mapa da localização das UPGRH em Minas Gerais, com destaque para a Bacia do Rio das Velhas.	42
Figura 5.2 – Mapa da UTE Ribeirão Arrudas.	44
Figura 5.3 – Mapa da UTE Ribeirão Onça.....	45
Figura 5.4 – Enquadramentos da circunscrição hidrográfica do Rio das Velhas em Belo Horizonte.	48
Figura 5.5 - Mapa do panorama da qualidade das águas superficiais do Alto Rio das Velhas.	51
Figura 5.6 - Mapa do panorama dos municípios atendidos em Minas Gerais.	52
Figura 5.7 – Sistemas produtores de água da RMBH.	53
Figura 5.8 - Mapa dos Sistemas produtores da RMBH.....	54
Figura 5.9 - Fluxograma do sistema de produção Rio das Velhas.	54
Figura 5.10 - Fluxograma do Sistema de Produção Serra Azul.	55
Figura 5.11 – Outorgas superficiais e subterrâneas em Belo Horizonte, Minas Gerais.	56

LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ARSAE – MG	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CERH/MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CT	Contaminação por Tóxicos
ETA	Estação de Tratamento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de Qualidade das Águas
ISH	Índice de Segurança Hídrica
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SCBH	Subcomitê da bacia hidrográfica
S	SUL
SF5	São Francisco 5
SNGRH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UTE	Unidades Territoriais de Estudo
W	OESTE

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	15
3. REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1 História dos recursos hídricos	16
3.2 Gerenciamento de Recurso Hídrico	17
<i>3.2.1 Aspectos legais e institucionais da gestão de recursos hídricos</i>	<i>17</i>
<i>3.2.2 Gestão de recursos hídricos</i>	<i>19</i>
3.3 Panorama dos Recursos Hídricos	20
3.4 Impactos sobre os recursos hídricos	21
3.5 Vulnerabilidade Hídrica e Segurança Hídrica	23
3.6 Índice de Segurança Hídrica - ISH	24
3.7 Bacia Hidrográfica	27
<i>3.7.1 Conceitos e definições</i>	<i>27</i>
<i>3.7.2 Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas</i>	<i>28</i>
4. METODOLOGIA.....	33
4.1 Caracterização e coleta dos dados.....	33
4.2 Índice de Segurança Hídrica (ISH).....	34
<i>4.2.1 Dimensão Humana</i>	<i>36</i>
4.2.1.1 Cálculo do ISH na dimensão Humana.....	37
4.3 Análise da vulnerabilidade hídrica	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1 Área de estudo.....	42
<i>5.1.1 Localização da área de estudo</i>	<i>42</i>
<i>5.1.2 Característica da área de estudo</i>	<i>43</i>
<i>5.1.3 Enquadramento do Rio das Velhas</i>	<i>45</i>
<i>5.1.4 Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas</i>	<i>49</i>

5.2 Análise dos dados.....	49
5.2.1 <i>Diagnóstico da qualidade da água superficial e subterrânea</i>	49
5.2.2 <i>Reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)</i>	52
5.2.3 <i>Identificação das outorgas superficiais e subterrâneas</i>	55
5.3 Análise do ISH da Dimensão Humana.....	56
5.3.1 <i>Diagnóstico da demanda</i>	61
5.4 Análise da vulnerabilidade hídrica	63
6. CONCLUSÕES.....	64
7. RECOMENDAÇÕES.....	65
REFERÊNCIAS:	66

1. INTRODUÇÃO

O volume total de água no planeta Terra é de 1,4 bilhão de km³ que cobre 71% da sua superfície. Cerca de 97,5% dessa água está presente nos oceanos e mares e somente 2,5% corresponde a água doce. Do total de água doce no mundo, 2/3 está presente em geleiras e calotas polares e 1/3 está disponível para consumo, contido em lagos, rios, corpos subterrâneos, solos, atmosfera e biota (GRASSI, 2001). A água é um recurso fundamental para a existência da vida, com isso, torna-se difícil imaginar a vida na ausência deste recurso.

Contudo, mesmo com tamanha significância, muitas localidades ainda não têm acesso a quantidades de água com características de potabilidade adequadas às necessidades do consumo humano (GRASSI, 2001). De acordo com a Unicef (2021), mais de 1,42 bilhão de pessoas, incluindo 450 milhões de crianças, vivem em áreas de vulnerabilidade hídrica alta ou extremamente alta, ou seja, isso significa que uma em cada cinco crianças em todo mundo não tem água suficiente para atender às suas necessidades básicas.

A despeito do cenário mundial, o Brasil também não garante o acesso a serviços básicos de água e esgoto para toda a população, pois 15 milhões de brasileiros residentes em áreas urbanas não tem acesso à água tratada. Em áreas rurais, 25 milhões possuem apenas um nível básico desses serviços, e 2,3 milhões usam fontes de água não seguras para o consumo humano, higiene pessoal e doméstica (UNICEF, 2021).

Segundo Grassi (2001), esse quadro no Brasil está atrelado ao desenvolvimento econômico nas últimas décadas, que tem sido caracterizado pelo uso intensivo dos recursos naturais sem o devido planejamento. Além disso, a forma de uso dos recursos aliado a degradação ambiental promove grandes perdas econômicas e socioambientais. Ainda é possível ver na presente cultura do país, por exemplo, o descarte da água não tratada no corpo receptor mais próximo após seu uso nas mais diversas atividades. Embora entenda-se que os recursos hídricos possuem uma capacidade de autodepuração, a capacidade se limita de acordo com a quantidade do que é lançado no corpo hídrico e do seu estado atual, influenciando a qualidade deste.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil possui como marco legal, que instituiu o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, a Constituição Federal de 1988, em seu inciso XIX do artigo 21. O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) foi

criado para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), fruto da Lei nº 9.433/97, e coordenar a gestão integrada desses recursos. Cabe ressaltar que dentre os fundamentos da PNRH, a gestão dos recursos hídricos deve sempre garantir o uso múltiplo das águas. E para isso, a política concretizou a gestão organizada por bacias hidrográficas em todo território nacional, seja em corpos hídricos da União ou dos Estados. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da PNRH e a atuação do SNGRH. Além disso, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e da comunidade (art. 1º, inc. VI da Lei nº 9.433/97).

De maneira geral, segundo Porto *et al.* (2008), há dificuldades em lidar com a gestão dos recursos hídricos no Brasil, principalmente em relação ao recorte geográfico do país, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas a atividades agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa distinta da bacia hidrográfica.

De acordo com Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2000), a gestão dos recursos hídricos no Brasil e, em todo o mundo, necessita ser participativa e integrada, de acordo com as evoluções conceituais, organizacionais, tecnológicas e institucionais do gerenciamento de recursos, constituindo o quesito fundamental para um desenvolvimento equilibrado e em consonância com a preservação do meio ambiente.

Para uma gestão dos recursos hídricos efetiva, é necessário um bom planejamento, embora saiba-se que essa gestão envolve uma complexa administração com diversos desafios. Com isso, entender o contexto em que os recursos hídricos se encontram é essencial para o desenvolvimento de ações planejadas para auxílio à gestão. Uma forma de entender a situação que o corpo hídrico se encontra é através da análise da vulnerabilidade do meio, que possibilita identificar as deficiências e fragilidades que este se encontra. A definição de vulnerabilidade, segundo o Ministério de Meio Ambiente (BRASIL, 2007), é a condição intrínseca do meio com relação a provocação de uma perturbação neste e as características locais naturais e humanas em cada fração do território, resultando em efeitos adversos. Um espaço vulnerável pode sofrer um ou mais eventos adversos, que podem ser de origem natural ou provocado pelo homem, resultando em desastre.

Nesse contexto, entende-se que o papel do ser humano com suas ações e atividades, induzem

efeitos que atuam sobre a vulnerabilidade do meio nas mais diversas proporções. As consequências dessas ações têm sido drásticas tanto para a natureza quanto para o homem. Pode-se observar que o meio ambiente é um sistema que possui um conjunto de elementos que interagem entre si, como solo, água, energia, vegetação. Quando esse sistema se afasta do equilíbrio, mais imprevisível é a possibilidade de respostas às intervenções ocorridas neste. O ser humano tem alterado esse sistema natural e causado instabilidade, seguida de desastres (BRASIL, 2007). Os recursos hídricos encontram-se incluídos nesta situação, de forma que sua condição é de vulnerabilidade.

Um importante rio em Minas Gerais que tem grande significância para o estado e para o país é o Rio das Velhas. Devido à sua relevância no território mineiro, conhecer o cenário de vulnerabilidade hídrica em que este se encontra é essencial para entender a atual situação da bacia. A qualidade dos recursos hídricos está diretamente ligada a fatores das fontes poluidoras como: degradação da cobertura vegetal, alteração da rede de drenagem, deficiência no saneamento básico, entre tantos outros. A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) ocupa apenas 10% da área territorial da Bacia do Rio das Velhas, contudo, esta região se destaca por possuir mais de 70% de toda a população da bacia. Esta área tem o processo de urbanização avançado e concentra atividades industriais, sendo por isso a área que mais contribui com a degradação das águas do Rio das Velhas, segundo Euclides *et al.* (2009).

Entre os municípios que compõem a RMBH, destaca-se Belo Horizonte, município objeto de estudo dessa pesquisa, pois exerce uma notável influência sobre a bacia do Rio das Velhas, especialmente devido à extensa área urbana que impacta diretamente as suas sub-bacias, Bacia do Ribeirão Arrudas e Bacia do Ribeirão Onça. Segundo IGAM (2021), o Ribeirão Arrudas possui trechos de classe especial, e muda sua classificação ao passar pelo município e apresenta não conformidade segundo a COPAM/CERH N° 01/2008. Isso mostra a degradação da qualidade das águas na Bacia do Rio das Velhas.

No contexto nacional, 15,8% da população não possui acesso aos serviços de abastecimento de água. Em Minas Gerais, esse percentual é de 17,6% no estado, e 5,05% da população total da cidade de Belo Horizonte enfrenta essa falta de acesso. O abastecimento de água na capital mineira é realizado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA (SNIS, 2021). Segundo IDE-SISEMA (2023), Belo Horizonte detém 20 outorgas superficiais e 584

outorgas subterrâneas vigentes. Isso mostra que a demanda de água no município é significativa, caracterizando uma situação de baixa segurança, uma vez que a sua disponibilidade se encontra comprometida por diversos fatores.

Diante do exposto, é importante salientar que os principais aspectos que impactam os recursos hídrico precisam, primeiramente, de estudos e análises minuciosas com respeito a essa questão. Este trabalho não tem a pretensão de esgotar o tema com respeito aos recursos hídricos, que é extremamente vasto e em processo constante de aperfeiçoamento de conceitos, metodologias, modelos utilizados, legislação e propostas de planejamento e execução da gestão de águas.

O presente trabalho busca entender a temática e analisar o cenário atual de vulnerabilidade hídrica que o município de Belo Horizonte está inserido. A busca inclui a análise do Índice de Segurança Hídrica (ISH) na dimensão humana como ferramenta que relaciona a disponibilidade hídrica e demanda de água. Essa abordagem visa proporcionar uma compreensão mais profunda da situação em questão, visando propor medidas preventivas e de mitigação para combater a falta de água.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa é:

Analisar a relação entre a segurança e vulnerabilidade hídricas do município de Belo Horizonte, Minas Gerais.

Os objetivos específicos são:

- Analisar a segurança hídrica no município de Belo Horizonte;
- Analisar os principais fatores que impactam o corpo hídrico;
- Analisar o Índice de Segurança Hídrica na dimensão humana; e
- Analisar os diferentes cenários associados à vulnerabilidade no município de Belo Horizonte na Bacia do Rio das Velhas.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 História dos recursos hídricos

Ao redor de todo o mundo, as cidades foram se estabelecendo e crescendo próximas aos cursos d'água. As primeiras grandes civilizações surgiram nos vales, vale do Nilo no Egito, vale do Tigre-Eufrates na Mesopotâmia, vale do Indo no Paquistão, vale do rio Amarelo na China. Todas essas civilizações, para prosperarem, tornaram o solo produtivo por meio da irrigação. Muitas civilizações desmoronaram quando houve um mal aproveitamento ou se extinguiu o abastecimento de água, como por exemplo a civilização dos sumérios na Mesopotâmia, que segundo alguns historiadores, as causas do declínio era as más práticas de irrigação que causou falta de alimentos para a população (BRUNI, 1993; GRASSI, 2001).

A água e seus determinados usos é importante para o avanço em vários aspectos de uma nação. No Brasil, segundo sua história, no início da ocupação portuguesa, a administração dos recursos brasileiros era para a exploração do engenho capitalista eurocentrado. Suas riquezas, solo, água e mão de obra, seriam instrumentalizadas para a produção e faziam parte da posse dos governantes destinados pela coroa. Até o século XIX, o uso das águas no Brasil era apenas para colocá-las a serviço dos projetos de exploração econômica no ciclo açucareiro e no âmbito das atividades realizadas pela mineração (FAORO, 2000; FONSECA; PRADO FILHO, 2006).

Segundo Fonseca e Prado Filho (2006), o século XX se caracteriza pela necessidade crescente de reformar o sistema de gestão das águas no Brasil, até então baseado no antigo Código de Águas de 1934, que de certa forma privilegiava os usos de aproveitamento hidrelétrico da água e não no eficaz combate dos problemas gerados a partir do crescimento dos processos de urbanização como a poluição dos corpos d'água, enchentes, aumento da demanda de água na indústria e na agricultura, conflitos de uso, secas, entre outros. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico publicou o livro “A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil” (ANA, 2002), que trata o sistema de gerenciamento de recursos hídricos no Brasil nas últimas décadas, abordando que o gerenciamento das águas no Brasil é um fenômeno recente, que surgiu ao longo do século XX (FONSECA; PRADO FILHO, 2006).

A visão quanto ao uso e preservação dos recursos hídricos foi mudando com o passar dos anos e um dos principais marcos dessas mudanças foi a instituição da Política Nacional de

Recursos Hídricos, através da Lei 9.433, de 9 de janeiro de 1997, e a criação da ANA através da Lei 9.984, de 17 de julho de 2000. A Lei Federal nº 9.433/1997 se baseia no atendimento ao uso múltiplo das águas e na gestão por bacias hidrográficas, tendo como um de seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (art. 2º, inc. I da Lei nº 9.433/1997). O desafio para alcançar esse objetivo tem se apresentado de forma mais urgente nas cidades e regiões metropolitanas, onde se verifica uma crescente complexidade para garantir o abastecimento das populações urbanas (ANA, 2017).

3.2 Gerenciamento de Recurso Hídrico

3.2.1 Aspectos legais da gestão de recursos hídricos

O Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, conhecido como Decreto ou Código de águas, iniciou um olhar mais específico do poder público brasileiro com relação ao recurso hídrico, definindo em seu primeiro artigo que as águas públicas podem ser de uso comum ou dominicais nos três entes federativos: União, Estado e municípios.

Após o decreto, a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, em seu *caput* do art.225, consta que: “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988). Além disso, a Constituição de 1988 definiu como bens da União em seu artigo 20, inciso III, "os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos do seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, se estendam a território estrangeiro, ou dele provenham, bem como terrenos marginais e as praias fluviais” (BRASIL, 1988). Já no art. 26, inciso I, da Constituição Federal, incluem-se entre os bens dos Estados e do Distrito Federal "as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União" (BRASIL, 1988).

Cabe destacar que a alteração introduzida pela Constituição Federal de 1988 foi a atribuição dada à União no seu art. 21, inciso XIX, para "instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de uso” (BRASIL, 1988). Este artigo constitucional deu origem à Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, na qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos.

A partir da aprovação dessa lei, o país passa a dispor de um instrumento legal que visa garantir às gerações futuras a disponibilidade do recurso hídrico. Os fundamentos da PNRH estão dispostos nos incisos do artigo 1º da lei 9.433/1997:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Já nos incisos do artigo 2º, a PNRH aborda seus objetivos:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.
- IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Com respeito ao Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, o artigo 25 da referida lei relata que esse sistema é “de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão” (BRASIL, 1997). Além disso, o marco da criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos está em seu artigo 32, que tem os objetivos “coordenar a gestão integrada das águas; arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos; implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos; planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos; e promover a cobrança pelo uso de recurso hídrico” (BRASIL, 1997).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico foi criada em 2000, de forma a complementar a estrutura institucional da gestão de recursos hídricos do país, sendo esta é a entidade operacional do sistema com responsabilidade pela implantação da política nacional de recursos hídricos, detendo o poder outorgante de fiscalização e de cobrança pelo uso da água.

3.2.2 Gestão de recursos hídricos

O objetivo atual da gestão dos recursos hídricos no Brasil é promover a descentralização da gestão, saindo de uma estrutura centralizada e permitindo que a decisão seja tomada na bacia hidrográfica. A gestão de recursos hídricos, baseada na delimitação territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990 na Rio-92 (PORTO *et al.*, 2008).

Segundo Porto *et al.* (2008), uma característica importante do sistema de gestão é a forma de dar legitimidade à decisão e também a forma mais eficiente para garantir a implantação das decisões tomadas. Com isso, a importância dada à participação pública é essencial. Além disso, para uma gestão sustentável dos recursos hídricos é necessário um conjunto mínimo de instrumentos principais, ou seja, uma base de dados e informações acessíveis à sociedade, definindo com clareza os direitos de uso e o controle dos impactos sobre os recursos hídricos.

Segundo a Lei n. 9.433/97, os instrumentos que devem ser utilizados para viabilizar a implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos estão descritos nos incisos do seu artigo 5º:

- I- os Planos de Recursos Hídricos;
- II - o enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes;
- III - a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos;
- IV - a cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- V - a compensação aos municípios;
- VI - Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Dos instrumentos citados, os planos de recursos hídricos e o enquadramento dos corpos hídricos (que permite uma melhor explicitação da relação entre usos da água e objetivos de qualidade pretendidos), atrelados aos custos de investimento necessários para atingi-los e as

outorgas (uma autorização de direitos de uso, emitida pela União ou pelos Estados, dependendo do domínio sobre o corpo hídrico a ser explorado, com exceção dos usos que são considerados como insignificantes), são definidos no âmbito de comitês de bacia hidrográfica (PORTO *et al.*, 2008).

Um ponto relevante da outorga é que esta busca garantir a equidade entre os usuários. É mediante o conhecimento das disponibilidades hídricas (redes de monitoramento hidrológico) e do cadastramento das demandas (usos e usuários outorgados) que o poder público reúne condições de controle e gestão da água. Com isso, a outorga pode ser também utilizada como um instrumento de implantação de sistemas de gestão de demanda e uso racional da água, além de permitir que se faça o disciplinamento do tipo de atividade a ser implantada na bacia e, portanto, também auxiliar na gestão territorial (PORTO *et al.*, 2008).

É importante que os órgãos públicos responsáveis estejam adequadamente organizados e equipados para o melhor controle, tanto em relação à base de dados e informações necessárias quanto em relação às estruturas de fiscalização e monitoramento, de modo a assegurar que os condicionantes estabelecidos durante o procedimento de outorga estejam sendo respeitados (PORTO *et al.*, 2008).

A cobrança pela utilização dos recursos hídricos e a compensação aos municípios são instrumentos de incentivo econômico à gestão adequada dos recursos hídricos, ou seja, são incentivos que orientam os agentes a valorizarem os bens e serviços ambientais, de acordo com sua oferta ou escassez. Já os sistemas de informação são a base essencial para a correta aplicação de todos os demais instrumentos de gestão, pois a informação é a base de uma decisão mais bem qualificada (PORTO *et al.*, 2008).

3.3 Panorama dos Recursos Hídricos

Segundo o primeiro princípio da Declaração de Dublin (WMO, 1992), a água doce é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida, o desenvolvimento e o meio ambiente. É inquestionável a importância da água para a vida do ser humano, principalmente pelo fato de que mais de 70% de seu corpo ser composto por água. Além disso, as diversas ações humanas dependem deste recurso, seja para uso doméstico, comercial ou industrial. Entretanto, apesar de ser um recurso renovável, o mau uso deste recurso, superestimando a sua capacidade de renovação, pode confirmar a afirmação do princípio de ser “finito”.

De acordo com ANA (2000), estima-se que, atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas vivem em condições insuficientes de disponibilidade de água para consumo e que, em 25 anos, cerca de 5,5 bilhões de pessoas viverão em áreas com moderada ou séria falta de água. Ao analisar este problema de maneira global, percebe-se que, em questão de quantidade, existe o suficiente para o atendimento de toda população, contudo, há diferentes cenários de disponibilidade hídrica em diversas regiões pela distribuição não uniforme dos recursos.

O Brasil não é uma exceção à essa realidade. Cada região do país possui um cenário diferente com relação ao recurso hídrico. Por exemplo, segundo ANA (2000), cerca de 70% da água doce do país encontra-se na região amazônica, que é habitada por menos de 5% da população. A ideia de que o Brasil possui uma situação privilegiada em relação a sua disponibilidade hídrica pode encorajar à cultura do desperdício da água disponível, a pouca valorização do recurso e a postergação de investimentos necessários à otimização de seu uso. Percebe-se que ainda falta maior conscientização e envolvimento da sociedade nos processos decisórios relativos ao recurso hídrico.

Arelado a este fato, entre os anos de 2014 e 2015, a região sudeste do Brasil passou por uma grave escassez hídrica, a qual despertou a atenção do país com respeito a segurança hídrica. O Instituto de Meteorologia do Brasil registrou que entre janeiro e março de 2014 só choveu 46% do esperado, com base nas médias históricas do período entre 1961-1990 (CEMADEN, 2015). Toda essa situação pode gerar insegurança por parte da sociedade com relação à gestão dos recursos hídricos no país.

Existem estudos que apontam para uma escassez cada vez mais acentuada de água para a produção de alimentos, desenvolvimento econômico e manutenção de ecossistemas naturais (GRASSI, 2001). A demanda por água continua a aumentar enquanto os recursos hídricos estão diminuindo (UNICEF, 2021). Com isso, a gestão dos recursos hídricos necessita compartilhar os componentes das políticas e programas de drenagem urbana, resíduos sólidos, abastecimento de água (incluindo medidas de conservação e uso racional), esgotamento sanitário, preservação de mananciais, uso e ocupação do solo, entre outras, para garantir melhor a gestão do recurso e, consequentemente, a segurança hídrica do país.

3.4 Impactos sobre os recursos hídricos

A utilização dos recursos hídricos para suprimento das demandas dos núcleos urbanos, das

indústrias e da agricultura causa impactos significativos sobre esses recursos, sendo que também são afetados pelo processo de uso e ocupação do solo, seja no meio urbano ou rural. A demanda urbana de água é constituída pela demanda doméstica, acrescida de outras, referentes às atividades que dão origem ao núcleo urbano: indústria, comércio, prestação de serviços públicos e privados. Já o abastecimento doméstico da área rural é pouco significativo por serem as demandas dispersas e de pequena quantidade. De maneira geral, o volume de demanda das áreas rurais para abastecimento é bem menor do que as dos núcleos urbanos, devido às diferenças de estilo de vida e padrões de consumo (ANA, 2000).

De acordo com Rodrigues e Prado (2004) *apud* Bastos *et al.* (2018), o meio rural e urbano possui diferenças com relação as atividades poluidoras. Conclui-se que nas áreas urbanas a poluição afeta de maneira direta ou indireta a qualidade dos rios, como resultado do processo de desenvolvimento, por exemplo, os vazamentos de combustível nos tanques de armazenamento e pela água das chuvas que carregam rejeito espalhados pelas ruas contribuem para contaminação do lençol freático, o despejo de resíduos fecais via esgoto doméstico, pela falta de tratamento do lixo recolhido que produz o chorume e pelos resíduos industriais (metais pesados). Contudo, a poluição na área rural ocorre na maior parte pelo desenvolvimento da agricultura, em virtude do crescimento da população e necessidade maior de consumo de alimentos, além do uso de agrotóxicos nas plantações.

Segundo Carvalho (2000), nas áreas em que há a necessidade do uso da água para o desenvolvimento da agricultura e pecuária, a proximidade aos rios e lagos influenciam a localização das atividades, o que influencia na degradação do solo, ao deixá-lo exposto às erosões e ao escoamento da água da chuva, carreando quantidades de matéria orgânica, inorgânica e compostos químicos para o corpo hídrico, afetando o equilíbrio deste.

Os recursos hídricos têm capacidade de diluir e assimilar esgotos e resíduos, mediante processos físicos, químicos e biológicos, que proporcionam a sua autodepuração. Entretanto, essa capacidade é limitada em face da quantidade e qualidade de recursos hídricos existentes. O processo de eutrofização artificial é resultado da poluição em que os corpos d'água passam por um processo de enriquecimento pelos nutrientes oriundos de sedimentos e materiais dissolvidos sendo estes provenientes de esgoto não tratado e resíduos agrícolas e industriais. Esses elementos são carregados para lagos ou reservatórios de forma lenta e constante, geralmente provocados pelas atividades antrópicas (ANA, 2000; GRASSI, 2001).

O tratamento prévio de efluentes domésticos e industriais é fundamental para a conservação dos recursos hídricos em padrões de qualidade compatíveis com a sua utilização para os mais diversos fins. O desafio de saneamento no Brasil é de proporção continental. A ANA (2000) afirma que os avanços são significativos, mas a estratégia necessária para enfrentar a implementação desse sistema complexo num cenário diverso, com peculiaridades regionais, déficits de investimentos em diversos setores, principalmente no setor de saneamento, com falta de pessoas capacitadas, requer soluções criativas, inovadoras, além da constante disposição para a parceria e para a negociação.

A região sudeste, principalmente nas regiões hidrográficas costeiras, possui alta disponibilidade natural de água e intensa ocupação desordenada, que gera problemas de disputa pela água, associadas à escassez de água com a qualidade requerida pelo uso. Os problemas de poluição da água inviabilizam usos mais exigentes em qualidade, além de problemas de uso excessivo para irrigação (ANA, 2000).

3.5 Vulnerabilidade Hídrica e Segurança Hídrica

A compreensão de vulnerabilidade hídrica pode ser associada com a falta de segurança hídrica. Segundo a Organização das Nações Unidas, a definição de segurança hídrica é “o acesso sustentável à água em quantidades e qualidade aceitáveis para garantir o bem-estar das pessoas, o desenvolvimento socioeconômico e a preservação dos ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política. Além disso, para garantir a proteção contra a poluição e outros desastres relacionados à água” (UN-WATER, 2013). Logo, a falta de segurança hídrica poderia ser a ausência quantitativa e qualitativa para garantir os aspectos sociais, econômicos e ambientais que causam paz e estabilidade para a sociedade. E essa insegurança é a falta de proteção dos recursos hídricos com relação a poluição e demais desastres relacionados a este recurso.

Segundo UNECE (2018), a escassez de água e as secas estão ocorrendo cada vez com mais frequência e com maior magnitude, mesmo em países anteriormente ricos em água. As principais causas incluem o crescimento populacional e o aumento da extração de água, além do agravamento pelas mudanças climáticas. Com isso, pode-se afirmar que a segurança hídrica está diretamente associada ao crescimento da população e sua interação com os recursos hídricos, o que, por sua vez, afeta a sustentabilidade do ecossistema como um todo.

O trabalho de Santos *et al.* (2020) traz uma revisão com relação à caracterização da situação atual da segurança hídrica no Brasil, através da metodologia que utiliza variáveis relacionadas à segurança hídrica: disponibilidade hídrica, demandas de água, captação e tratamento de esgoto, e gestão de recursos hídricos, correlacionando-as com alguns desafios no país levantados pelos autores.

Para basear o entendimento da segurança hídrica é necessário a utilização de indicadores que abrangem as diversas variáveis ligadas ao tema. Há uma certa dificuldade de encontrar indicadores para compor um índice para avaliar a segurança hídrica, principalmente nas bacias brasileiras como a Bacia do Rio das Velhas. Contudo, o Índice de Segurança Hídrica (ISH) desenvolvido pela ANA pode ser aplicado como parâmetro metodológico não só na Bacia do Velhas, como também nas bacias que se encontram em nível estadual e municipal.

3.6 Índice de Segurança Hídrica - ISH

De acordo com ANA (2019a), o Índice de Segurança Hídrica (ISH) foi concebido no âmbito do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) com o objetivo de representar, de maneira simples e clara, as diversas dimensões da segurança hídrica, incorporando o conceito de risco associado aos usos da água.

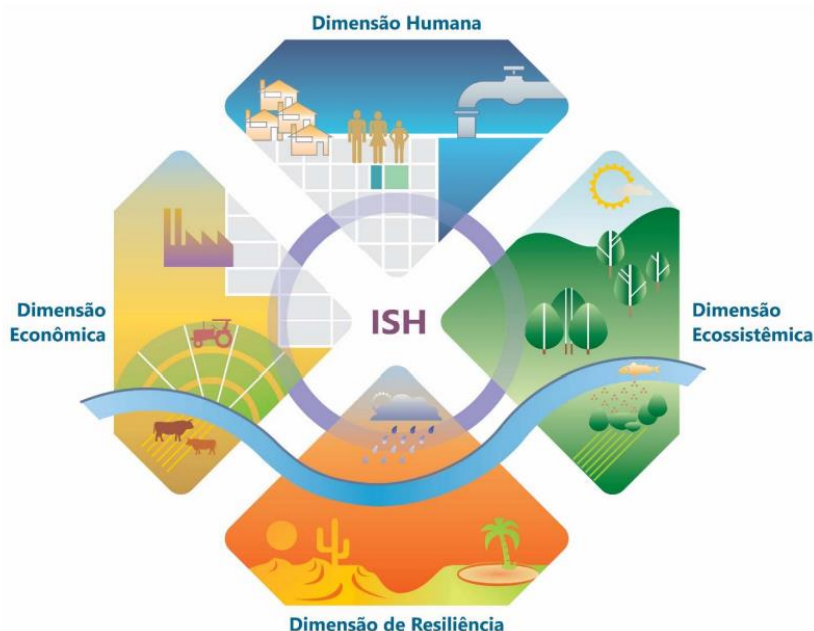
No âmbito do PNSH, segundo ANA (2019c), o conceito de risco hídrico é abordado considerando a exposição e a vulnerabilidade a eventos específicos. Isso implica que regiões com população dependente da água para sobrevivência e atividades econômicas estão suscetíveis a eventos extremos, requerendo a implementação de medidas de mitigação para reduzir tal vulnerabilidade.

O risco hídrico no ISH é caracterizado em risco pós-déficit, referente ao valor em risco quando uma parte da demanda não está sendo suprida, indicando uma relação entre demanda e disponibilidade hídrica superior a 100%, e o risco iminente, correspondente ao valor em risco que pode ocorrer no limiar do déficit, antes de sua ocorrência. Este risco aumenta progressivamente à medida que a relação entre demanda e disponibilidade hídrica se aproxima de 100%. Esses riscos são calculados em termos de população exposta a déficits hídricos na dimensão humana do ISH (ANA, 2019a).

A conceituação teórica de risco envolve quatro dimensões de segurança hídrica (Humana, Econômica, Ecossistêmica e Resiliência), que são fundamentais para orientar o planejamento

da oferta e do uso da água em um país. Essas dimensões foram combinadas como metodologia para formar o ISH, representado na Figura 3.1 (ANA, 2019a).

Figura 3.1 – Desenho esquemático do Índice de Segurança Hídrica (ISH).



Fonte: ANA (2019a).

Segundo a representação da Figura 3.2, cada dimensão é composta por um ou mais indicadores, capazes de quantificar aspectos pertinentes. As dimensões humanas possibilitam quantificar os déficits de atendimento às demandas de abastecimento humano, já a econômica relaciona-se ao setor produtivo, além dos riscos associados a estes. Já as dimensões ecológica e de resiliência permitem identificar as áreas mais críticas e vulneráveis, de acordo com ANA (2019a).

De acordo com ANA (2019a), a dimensão humana no ISH busca avaliar a garantia de oferta de água para a população urbana. As *ottobacias*¹ localizadas em áreas não urbanas apresentam valor nulo nesta dimensão. Além disso, essa dimensão busca quantificar a população que não tem o atendimento de abastecimento, identificando as regiões críticas e vulneráveis.

¹ Ottobacias são áreas delimitadas de contribuição da rede hidrográfica codificada segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação da bacia hidrográfica (ANA, 2016).

Figura 3.2 - Dimensões e Indicadores do ISH.

Indicadores do ISH	
Dimensão	Indicador
Humana	Garantia de água para abastecimento
	Cobertura da rede de abastecimento
Econômica	Garantia de água para Irrigação e Pecuária
	Garantia de água para atividade Industrial
Ecossistêmica	Quantidade adequada de água para usos naturais
	Qualidade adequada de água para usos naturais
	Segurança de barragens de rejeito de mineração
Resiliência	Reservação artificial
	Reservação natural
	Potencial de armazenamento subterrâneo
	Variabilidade pluviométrica

Fonte: ANA (2019a).

A dimensão econômica é composta por dois indicadores: Garantia de Água para Agricultura e Pecuária e Garantia de Água para atividade Industrial, que buscam valorar os riscos dos setores econômicos que fazem uso de recursos hídricos no território nacional (ANA, 2019a).

Segundo ANA (2019a), a composição da dimensão ecossistêmica é dada por três indicadores: quantidade de água adequada para usos naturais, qualidade de água adequada para usos naturais e segurança das barragens de rejeitos de mineração, com o objetivo de mensurar condições saudáveis mínimas para o meio ambiente no âmbito da segurança hídrica.

A dimensão de resiliência apresenta indicadores das condições naturais e artificiais: Reservação Artificial (condição artificial), Reservação Natural (condição natural), Potencial de Armazenamento Subterrâneo (condição natural) e Variabilidade da chuva (condição natural). Os indicadores estão relacionados à ocorrência de eventos críticos de secas no território brasileiro e a suscetibilidade natural a esses eventos no aspecto climático e hidrológico, de maneira que quanto menos suscetível em determinado local, maior é sua segurança hídrica (ANA, 2019a).

3.7 Bacia Hidrográfica

3.7.1 Conceitos e definições

A bacia hidrográfica está conectada aos sistemas hídricos onde se realizam os balanços de entrada proveniente da chuva e saída de água através do exultório. Segundo Tucci (1997), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exultório.

O território definido como bacia hidrográfica pode possuir o desenvolvimento de diversas atividades humanas, pois as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia. O que ocorre em uma bacia hidrográfica é fruto das formas de ocupação do território e da utilização das águas na área (PORTO *et al.*, 2008).

A organização institucional da bacia hidrográfica depende das atividades dos usuários que utilizam a água na bacia. Gerenciar essas atividades não é uma tarefa fácil, pois, à medida que diminui a disponibilidade hídrica *per capita* gera-se uma competitividade. A forma de dar sustentabilidade e equidade a essa competição foi definida pela Lei n. 9.433/97 e ela se dá por meio da instância de decisão local que são os Comitês de Bacia Hidrográfica. O Comitê de Bacia Hidrográfica traz a decisão a nível local, ou seja, gere as situações levantadas de acordo com a escala e as características da problemática local.

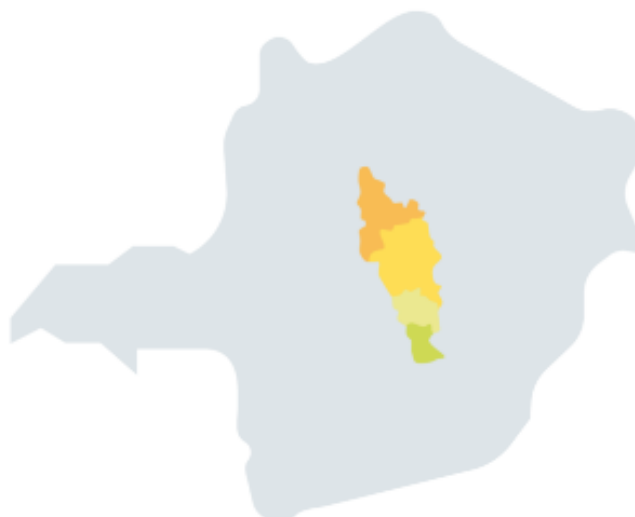
Os comitês de bacia possuem, em sua composição, membros, diversos agentes envolvidos em nível governamental, privado e da sociedade civil. As decisões que saem do consenso tendem a ser mais sustentáveis, segundo Porto *et al.* (2008), contudo, mais demoradas, pois buscam-se soluções que contemplem de forma satisfatória os interesses dos diversos agentes envolvidos pelo processo de negociação.

A gestão das bacias hidrográfica, segundo a Lei n. 9.433/97, possui instrumentos que auxiliam essa gestão ao serem aplicados. Os instrumentos possuem objetivos de aplicação distintos e devem ser utilizados para alcançar diferentes fins. Com o objetivo da construção de consenso na bacia hidrográfica, o Plano de Recursos Hídricos e o Enquadramento de Recursos Hídricos ampliam as possibilidades do planejamento tradicional, mediante processos participativos, abrindo espaços a todos em tais processos de negociação (PORTO *et al.*, 2008).

3.7.2 Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

O Rio das Velhas nasce no município de Ouro Preto, dentro do Parque Municipal das Andorinhas e deságua no Rio São Francisco no distrito de Barra do Guaicury, município de Várzea da Palma. O Rio das Velhas é o maior afluente em extensão da bacia do Rio São Francisco. Toda a bacia do Rio das Velhas está integralmente situada no estado de Minas Gerais, como indicado na Figura 3.3, em sua região central, ocupando uma área de drenagem de 27.857 km². A área de drenagem desta bacia representa 12% da área mineira da bacia do São Francisco, e parte da extensão do rio é responsável pelo abastecimento de cerca de 60% da capital mineira e a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), ou seja, parte do curso deste rio desempenha um papel crucial para esta região (CBH VELHAS, 2023?; EUCLYDES *et al.*, 2009).

Figura 3.3 - Localização da Bacia do Rio das Velhas em Minas Gerais.



Fonte: CBH VELHAS (2023?).

Em Minas Gerais, o Rio das Velhas e seus afluentes passam por 51 municípios e abrangem uma população estimada em 4,4 milhões de habitantes (IBGE, 2000 *apud* CBH VELHAS, 2023?). A Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas é subdividida em quatro regiões fisiográficas: Alto Rio das Velhas, Médio Alto Rio das Velhas, Médio Baixo Rio das Velhas e Baixo Rio das Velhas (Figura 3.4).

divisão da bacia em Alto, Médio e Baixo foi ajustada com base nesta análise, considerando os limites das UTEs. A **Figura 3.5** a seguir ilustra essas subdivisões.

Figura 3.5 – Relação das UTEs com as regiões fisiográficas da Bacia do Rio das Velhas

Região	UTE/SCBH		Área (km ²)	Percentual da bacia
Alto	1	UTE Nascentes	541,58	1,94%
	2	SCBH Rio Itabirito	548,89	1,97%
	3	UTE Águas do Gandarela	323,66	1,16%
	4	SCBH Águas da Moeda	544,32	1,95%
	5	SCBH Ribeirão Caeté/Sabará	331,56	1,19%
	6	SCBH Ribeirão Arrudas	228,37	0,82%
	7	SCBH Ribeirão Onça	221,38	0,79%
Médio Alto	8	UTE Poderoso Vermelho	360,48	1,29%
	9	SCBH Ribeirão da Mata	786,84	2,83%
	10	SCBH Rio Taquaraçu	795,50	2,86%
	11	SCBH Carste	627,02	2,25%
	12	SCBH Jabo/Baldivim	1.082,10	3,89%
	13	SCBH Ribeirão Jequitibá	624,08	2,24%
Médio Baixo	14	UTE Peixe Bravo	1.169,89	4,20%
	15	UTE Ribeirões Tabocas e Onça	1.223,26	4,39%
	16	UTE Santo Antônio/Maquiné	1.336,82	4,80%
	17	SCBH Rio Cipó	2.184,86	7,85%
	18	SCBH Rio Paraúna	2.337,61	8,39%
	19	UTE Ribeirão Picão	1.716,59	6,16%
	20	UTE Rio Pardo	2.235,13	8,03%
Baixo	21	SCBH Rio Curimataí	2.218,66	7,97%
	22	SCBH Rio Bicudo	2.274,48	8,17%
	23	UTE Guaicuf	4.136,93	14,85%
Bacia do rio das Velhas			27.850,00	-

Fonte: CBH VELHAS (2015).

O uso e cobertura do solo na Bacia do Rio das Velhas mostra características de atividades antrópicas e de cobertura natural. A análise dessas informações é fundamental para realizar uma avaliação da situação atual da bacia, com foco nas possíveis alterações que os recursos hídricos podem sofrer. A Figura 3.6 apresenta o uso do solo em duas categorias, uma ligada às atividades socioeconômicas, agropecuária, área irrigada, silvicultura, dentre outras, sendo denominada Uso Antrópico; e a outra está relacionada a elementos naturais, como afloramento rochoso, vegetação arbustiva, entre outros, sendo chamada de Cobertura Natural. Essas categorias definiram classes que basearam o mapeamento de uso e cobertura do solo apresentadas na Figura 3.7 (CBH VELHAS, 2015).

Figura 3.6 - Uso do solo na Bacia do Rio das Velhas.



Fonte: CBH VELHAS (2015).

Figura 3.7 – Quadro da distribuição das classes de uso e cobertura do solo na Bacia do Rio das Velhas

Classe	Área Total (km ²)	Área Relativa (%)
Afloramento Rochoso	474,99	1,71
Agricultura Irrigada	73,76	0,26
Agropecuária	12.217,03	43,87
Área Urbana	813,45	2,92
Hidrografia	114,46	0,41
Mineração	56,47	0,2
Queimada	702,73	2,52
Silvicultura	827,03	2,97
Vegetação Arbórea	2.190,71	7,87
Vegetação Arbustiva	10.379,38	37,27

Fonte: CBH VELHAS (2015).

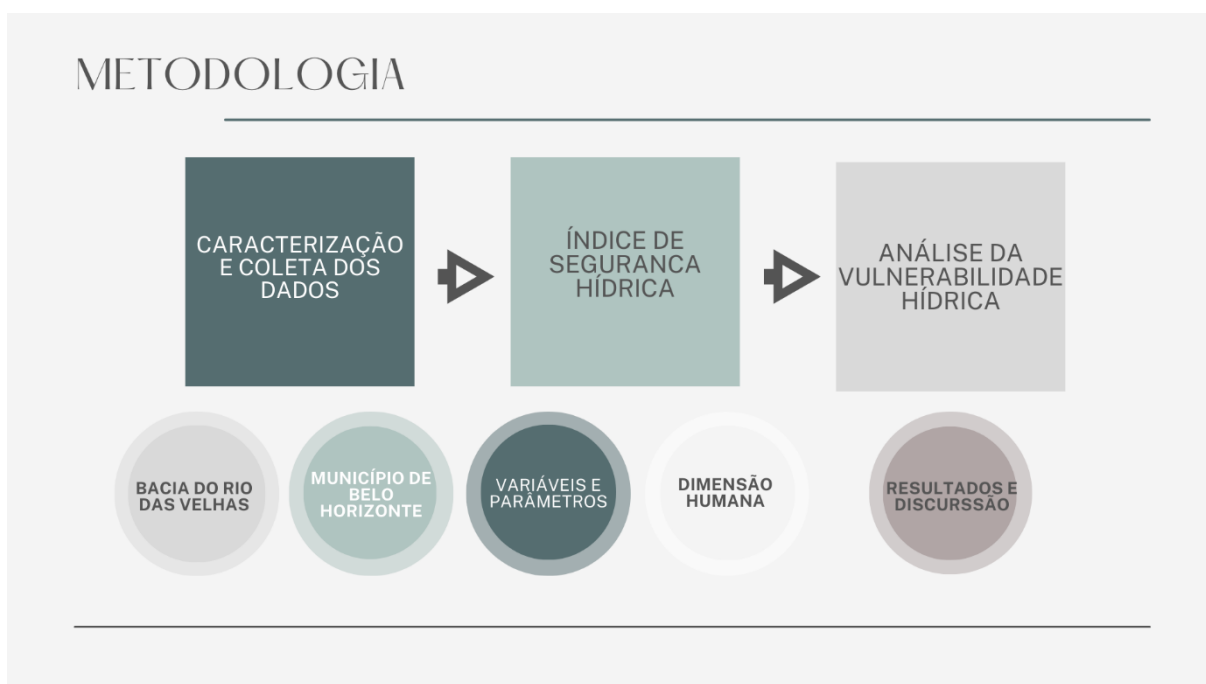
A região de estudo, Belo Horizonte, está ao norte da delimitação do Alto Rio das Velhas juntamente com Contagem e Sabará, e ao sul, Ouro Preto, onde nasce o rio. Na Figura 3.4 mostra que Belo Horizonte está situada em parte na Bacia do Ribeirão Arrudas e em parte na Bacia do Ribeirão Onça. Além disso, a capital mineira participa tanto do Subcomitê da bacia hidrográfica (SCBH) do Ribeirão Arrudas (6) quanto do Subcomitê da Bacia Hidrográfica (SCBH) do Ribeirão Onça (7) conforme ilustrado na Figura 3.5. É importante notar que a cidade possui uma extensa área urbana (Figura 3.6) nessas bacias. A RMBH apresenta o maior contingente populacional da bacia, onde estão presentes o maior foco de poluição hídrica desta. Ademais, essa região da bacia faz parte do Quadrilátero Ferrífero do estado de Minas Gerais, uma região de reservas minerais de ferro, manganês, cobre, ouro, alumínio, antimônio e urânio, explorada por diversas atividades minerárias. Os demais trechos da bacia, médio e baixo do Rio das Velhas, possui o predomínio das atividades agrícolas e pecuárias. As ações antropogênicas na bacia podem causar diversas poluições como por metais pesados pela mineração, agrotóxicos através das atividades agrícolas desenvolvidas, descarte inadequado de esgoto pela população na região, poluição térmica pelo lançamento de efluentes industriais, dentre outros (TRINDADE *et al.*, 2017).

Diante do exposto, torna-se evidente que compreender a vulnerabilidade relacionada à cidade de Belo Horizonte é de extrema relevância para este estudo, uma vez que a vulnerabilidade hídrica está intrinsecamente associada a segurança hídrica do município, bem como da Bacia do Rio das Velhas. Além disso, utilizar o Índice de Segurança Hídrica como método para avaliar os fatores sociais relacionados ao recurso hídrico pode subsidiar aos órgãos gestores, ações de manejo para a melhoria e reduzir escassez hídrica da região.

4. METODOLOGIA

Neste estudo, é realizada a análise da vulnerabilidade hídrica de Belo Horizonte na Bacia do Rio das Velhas, com base no Índice de Segurança Hídrica. A metodologia adotada envolve uma busca na literatura científica e a utilização de bancos de dados específicos da região da Bacia do Rio das Velhas, seguindo as etapas resumidas na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia do trabalho.



Fonte: Autora (2023).

Inicialmente, realizou-se a **Caracterização e Coleta dos Dados** levantando os principais fatores que impactam o corpo hídrico, levando em consideração a localização, os diversos usos, o quantitativo populacional, enquadramento do corpo hídrico, entre outros.

Na sequência avaliaram-se alguns aspectos da segurança hídrica através do **Índice de Segurança Hídrica** com base na dimensão humana da área de estudo. Essas análises forneceram subsídios para a **Avaliação da Vulnerabilidade Hídrica** de Belo Horizonte na Bacia do Rio das Velhas.

4.1 Caracterização e coleta dos dados

A caracterização da área de estudo tem como objetivo descrever as principais características de Belo Horizonte na bacia do Rio das Velhas, tais como a localização geográfica, clima,

topografia, hidrologia, características socioeconômicas e demográficas, dentre outras informações relevantes, os quais são baseados em dados da literatura e outras fontes de dados.

Além disso, foi feita uma pesquisa mais direcionada a situação da Bacia do Rio das Velhas no município de Belo Horizonte, contendo: a disponibilidade hídrica, usos da água, demanda de água e gestão dos recursos hídricos.

Para a coleta de dados, este trabalho utilizou dados secundários disponibilizados pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA e Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, com respeito as outorgas no município de Belo Horizonte.

4.2 Índice de Segurança Hídrica (ISH)

Com respeito a análise de dados, a vulnerabilidade pode ser interpretada como a falta de segurança hídrica. Assim, através da metodologia que aborda a segurança hídrica pelo ISH, calculou-se a dimensão humana do ISH para análise da falta de segurança para o município de Belo Horizonte, na Bacia do Rio das Velhas.

A metodologia do ISH, segundo ANA (2019a), de maneira geral calcula os graus de Segurança Hídrica de cada uma das dimensões pelo resultado de uma média simples ou ponderada dos graus de segurança de cada indicador. Os cálculos são realizados em cada ottobacia e os indicadores nulos não participam da média. Cada indicador é formado por uma combinação de variáveis e atributos mensuráveis. Os valores para quantificar os indicadores são classificados em cinco faixas de gradação, normalizadas com a atribuição dos números naturais de 1 a 5 em ordem crescente do nível de segurança hídrica, somente o indicador de segurança das barragens de rejeitos que varia de 1 a 3. Nas operações que envolvem graus, níveis e classes de segurança hídrica, os valores resultantes são ajustados conforme a Figura 4.2.

A Figura 4.3 apresenta a relação dos dados utilizados na construção de cada indicador e sua respectiva fonte.

No processo de elaboração do Índice de Segurança Hídrica (ISH), cada indicador é ponderado em suas respectivas dimensões, utilizando a metodologia adotada pela ANA (2019a). A atribuição dos pesos leva em consideração o papel de cada aspecto na representação da segurança hídrica segundo testes de aderência a realidade e com a visão dos especialistas que

se basearam nos aspectos que influenciam a segurança hídrica (ANA, 2019a).

Figura 4.2 - Quadro de Intervalos de Classe dos Graus de Segurança Hídrica.

Símbolo	Intervalo	Grau
	1,00 - 1,5	Mínimo - 1
	1,51 - 2,5	Baixo - 2
	2,51 - 3,5	Médio - 3
	3,51 - 4,5	Alto - 4
	4,51 - 5,0	Máximo - 5

Fonte: ANA (2019a).

Figura 4.3 – Quadro de resumos dos planos de informação para construção dos indicadores.

Dimensão	Planos de Informação
Humana	Balanço hídrico (Dem/Disp) por ottobacia - ANA Demandas hídricas(m³/s) por tipo de uso, município e ottobacia - Manual de Usos Consuntivos-ANA Pontos de captação para abastecimento urbano - Atlas de Abastecimento Urbano - ANA População urbana municipal - IBGE Polígonos de setor censitário urbano - IBGE Percentual de cobertura de rede de abastecimento urbano – Snis e IBGE
Econômica	Balanço hídrico (Dem/Disp) por ottobacia - ANA Demandas hídricas(m³/s) por tipo de uso, município e ottobacia - Manual de Usos Consuntivos-ANA Valor da produção agrícola municipal - PAM - IBGE Área cultivada por município – PAM - IBGE Área irrigada por município – Atlas Irrigação - ANA Regiões Rurais - IBGE Quantitativos de rebanho por município - PPM - IBGE Valor de cabeça animal, por tipo de rebanho - agrolink adaptado Valor Agregado Bruto da indústria - IBGE Polígono das áreas municipais - IBGE
Ecossistêmica	Balanço hídrico (Dem/Disp) por ottobacia - ANA Concentração de DBO por ottobacia - Atlas Esgotos - ANA Categoria de risco e dano potencial de barragens - RSB - ANA
Resiliência	Polígonos de reservatórios e seus volumes - ANA Vazões médias e Q95 por ottobacia - ANA Polígonos de aquíferos aflorantes classificados por tipo e seus coeficientes de infiltração - ANA Coeficiente de variação da chuva anual (Grade) - ANA

Fonte: ANA (2019a).

4.2.1 Dimensão Humana

De acordo com ANA (2019a), a composição desta dimensão se dá a partir da média ponderada, para cada município brasileiro, de 70% do valor do grau associado ao abastecimento da população urbana e 30% do valor à cobertura da rede.

O abastecimento da população urbana considera a avaliação da garantia de água com base na disponibilidade de água dos mananciais superficiais e subterrâneos utilizados para abastecer cada cidade. Esse processo levou em conta a capacidade desses mananciais em atender às demandas estimadas da população, utilizando dados do Atlas Brasil: abastecimento urbano de água, lançado em 2011, e suas atualizações (ANA, 2019a).

A relação entre a disponibilidade de água e as demandas (Disp/Dem) foi calculada nos pontos de captação superficiais e subterrâneos, considerando a população em risco de enfrentar escassez de água iminente ou após períodos de déficit. O valor total de população urbana em risco por município e seu respectivo valor percentual (Figura 4.4) é associado a um grau de segurança, segundo ANA (2019a).

Figura 4.4 - Quadro do grau de segurança municipal em função da população urbana em risco.

<i>População Urbana em Risco (absoluta)</i>	<i>População Urbana em Risco (%)</i>				
	<i>0 - 20%</i>	<i>20 - 40%</i>	<i>40 - 60%</i>	<i>60 - 80%</i>	<i>80 - 100%</i>
< 2.000	5	5	4	4	3
2.000 - 5.000	5	4	3	3	2
5.000 - 10.000	4	3	3	2	2
10.000 - 50.000	4	3	2	2	1
> 50.000;	3	2	2	1	1

Fonte: ANA (2019a).

Em relação a cobertura de rede de abastecimento urbano, ela foi considerada apenas como um fator penalizante, já que sua presença completa não aumenta a segurança em áreas com escassez hídrica. Esse indicador foi utilizado apenas quando era menor que o grau de garantia de abastecimento, contribuindo com 30% do valor da dimensão humana, de acordo com a Figura 4.5 (ANA, 2019a).

Figura 4.5 - Quadro do grau de segurança municipal em função da cobertura da rede de abastecimento.

<i>Grau de Segurança Adotada</i>	<i>Cobertura de Rede de Abastecimento (%)</i>	
	<i>Limite Inferior</i>	<i>Limite Superior (<=)</i>
1	0	80%
2	80%	90%
3	90%	95%
4	95%	98%
5	98%	100%

Fonte: ANA (2019a).

4.2.1.1 Cálculo do ISH na dimensão Humana

Na dimensão humana, conforme a ANA (2019a), o cálculo do ISH inicia com a determinação do Balanço Hídrico e dos Fatores de Risco de toda base hidrográfica. Cabe ressaltar que esses resultados são aplicados nas esferas humanas e econômicas. Em seguida, é feita uma lista dos pontos de captação superficiais e subterrâneos, quantificando o percentual de contribuição de cada manancial no abastecimento do município. Atribui-se para cada ponto de captação superficial um Fator de Risco (FR), considerando tanto os riscos iminentes quanto pós-déficit, com base na otobacia do ponto de captação. Já para os pontos de captação subterrânea, calcula-se o Fator de Risco (iminente e pós-déficit) com base no balanço hídrico fornecido pelo Atlas Brasil de Abastecimento para o ponto de captação. Utilizando os Fatores de Risco dos pontos de captação, estima-se a população de risco iminente, de pós-déficit e total.

O quantitativo da população urbana em risco por município é agregado e calcula-se seu respectivo valor percentual. Nos casos de somatório do percentual de atendimento do município por ponto de captação inferior a 100%, ou seja, quando há informações ausentes, o percentual da população em risco do município é dividido pelo percentual de atendimento conhecido de cada município. Ademais, cada município é classificado com base em um grau de segurança, conforme a matriz de classificação específica (Figura 4.4). É atribuído um nível de segurança ao percentual de cobertura da rede urbana de distribuição de água do município a partir da Figura 4.5 (ANA, 2019a).

Por fim, o ISH é calculado para cada município, sendo esse cálculo uma média ponderada dos dois indicadores, com 70% relacionados à garantia do abastecimento humano e 30%, à cobertura da rede. Isso se aplica apenas quando o grau de segurança da cobertura é inferior ao grau de segurança da garantia de abastecimento. Quando o grau de segurança da cobertura da rede é maior, o ISH humano é dado apenas pelo grau de segurança da garantia de

abastecimento de acordo com ANA (2019a).

No entanto, ao calcular essa dimensão para Belo Horizonte, não foi possível atribuir 30% do valor do grau associado à cobertura de rede de distribuição. Isso se deve ao fato de que, conforme dados de 2017, o grau de cobertura de rede era 95% (ANA, 2022), um valor muito próximo a 100% e não inferior ao grau de abastecimento da população urbana. Com isso, o resultado da dimensão é igual ao primeiro indicador, o grau de abastecimento da população urbana.

Ademais, é relevante destacar que a referência citada na metodologia ANA (2019a) “Atlas Brasil: abastecimento urbano de água 2010” está disponível em dois volumes distintos. O primeiro, intitulado “Atlas Brasil – Volume 1- Panorama Nacional”, aborda de maneira abrangente os sistemas integrados de produção de água para abastecimento, incluindo os investimentos relacionados. No entanto, para Belo Horizonte, esse volume não fornece dados qualitativos e quantitativos da produção hídrica.

O segundo volume, denominado “Atlas Brasil – Volume 2 - Resultados por Estado”, oferece informações mais detalhadas sobre os sistemas produtores na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Destaca-se que o sistema integrado Paraopeba, com captações nas barragens dos rios Vargem das Flores, Serra Azul e Manso, possui capacidade nominal variando entre 1,5 e 4,2 m³/s, e o sistema Rio das Velhas, principal manancial que abastece a cidade de Belo Horizonte, apresenta uma capacidade na Estação de Tratamento de Água (ETA) de 9,0 m³/s (ANA, 2010).

No entanto, é importante ressaltar que o “Atlas Brasil: abastecimento urbano de água 2010” recomendado pela ANA não oferece valores precisos para o abastecimento específico da cidade de Belo Horizonte. As informações disponíveis mencionam apenas que, na RMBH, o sistema integrado Paraopeba produz entre 1,5 e 4,2 m³/s, enquanto o sistema Rio das Velhas produz em sua Estação de Tratamento de Água (ETA) de 9,0 m³/s. Diante dessa limitação de dados, foi necessário recorrer à estimativa de disponibilidade, utilizando os dados de demanda específico para Belo Horizonte presentes no “Manual de usos consultivos” da ANA (2019b) e a metodologia aplicada no cálculo do FR (Pós- Déficit) e FR (Iminente).

Na Figura 4.6 pode-se observar a exemplificação do cálculo do Fator de Risco (FR), em que o cálculo muda conforme a razão entre a Disponibilidade (Disp) e a Demanda (Dem), em que

quando a razão $\text{Disp}/\text{Dem} \geq 1$, não há risco pós-déficit, e no caso de $\text{Disp}/\text{Dem} < 1$, deve-se calcular tanto o risco iminente quanto o risco pós-déficit.

Figura 4.6 – Tabela de exemplificação de Disp/Dem .

	Disp	Dem	Disp/Dem	FR _(iminente)	FR _(pós-deficit)	FR _(total)
Pré-Déficit	300	100	3.00	3.70%	0.00%	3.70%
	200	100	2.00	8.33%	0.00%	8.33%
	150	100	1.50	14.81%	0.00%	14.81%
	120	100	1.20	23.15%	0.00%	23.15%
	110	100	1.10	27.55%	0.00%	27.55%
	100	100	1.00	33.33%	0.00%	33.33%
Pós-Déficit	90	100	0.90	30.00%	10.00%	40.00%
	80	100	0.80	26.67%	20.00%	46.67%
	50	100	0.50	16.67%	50.00%	66.67%
	20	100	0.20	6.67%	80.00%	86.67%
	10	100	0.10	3.33%	90.00%	93.33%

Fonte: ANA (2019a).

Com base na identificação do déficit, estimou-se a disponibilidade hídrica (Disp) considerando a condição $(\text{Disp}/\text{Dem}) < 1$ e as equações 4.1, 4.2, 4.3 disponibilizadas pela ANA (2019a). A equação 4.4 demonstra o início da estimativa, substituindo os valores de FRi pela equação 4.2 e FRpd pela equação 4.3 na equação geral 4.1.

$$\text{FRt} = \text{FRpd} + \text{FRi} \quad 4.1$$

$$\text{FRi} = \frac{1}{3} \left(\frac{\text{Disp}}{\text{Dem}} \right) \quad 4.2$$

$$\text{FRpd} = 1 - \left(\frac{\text{Disp}}{\text{Dem}} \right) \quad 4.3$$

$$\text{FRt} = 1 - \left(\frac{\text{Disp}}{\text{Dem}} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{\text{Disp}}{\text{Dem}} \right) \quad 4.4$$

Na qual:

FRt = Fator de Risco Total

FRpd = Fator de Risco Pós- Déficit

FRi = Fator de Risco Iminente

Disp = disponibilidade hídrica

Dem = demanda de água

Através da equação 4.4, colocando em evidência a Disp e Dem separadamente, obtemos as equações 4.5 e 4.6. E também manipulando a equação 4.4, deixando em evidência (Disp/Dem), obteve-se a equação 4.7.

$$Disp = \frac{3}{2} (1 - FRt) Dem \quad 4.5$$

$$Dem = \frac{2}{3} \frac{Disp}{(1 - FRt)} \quad 4.6$$

$$\left(\frac{Disp}{Dem}\right) = \frac{3}{2} (1 - FRt) \quad 4.7$$

Com base na identificação de que não há déficit, estimou-se a disponibilidade hídrica (Disp) considerando a condição $(Disp/Dem) \geq 1$ e $FRpd = 0$ (zero), segundo ANA (2019a). Assim, pela equação 4.8, estimou-se a equação 4.9 colocando a disponibilidade (Disp) em evidência.

$$FRi = \frac{1}{3} \left(\frac{Disp}{Dem}\right)^{-2} \quad 4.8$$

$$Disp = dem(3 FRi)^{-\frac{1}{2}} \quad 4.9$$

4.3 Análise da vulnerabilidade hídrica

A vulnerabilidade pode ser entendida como um complemento à segurança hídrica, pois ela avalia os dados e identifica o que falta para chegar ao melhor índice de segurança hídrica. “O que falta” é analisado pelas variáveis relevantes do Índice de Segurança Hídrica na dimensão

humana e a possibilidade de aumentar o valor do índice. Os fatores que obstaram o avanço da segurança hídrica estão diretamente relacionados a vulnerabilidade. As medidas mitigadoras dos principais aspectos que corroboram para a segurança hídrica são as que reduzem a vulnerabilidade.

Considerando a Figura 4.2, a relação entre os graus do Índice de Segurança Hídrica com a os graus de vulnerabilidade hídrica está representado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Relação entre segurança hídrica e vulnerabilidade.

Grau do ISH		Grau de Vulnerabilidade Hídrica	
Mínimo	1	Risco Extremo	5
Baixo	2	Risco Alto	4
Médio	3	Risco Médio	3
Alto	4	Risco Baixo	2
Máximo	5	Risco Mínimo	1

Fonte: Autora (2023).

Diante da Tabela 4.1 exposta, classifica-se a vulnerabilidade hídrica para o município de Belo Horizonte na Bacia do Rio das Velhas através dos graus encontrados no ISH da dimensão humana.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

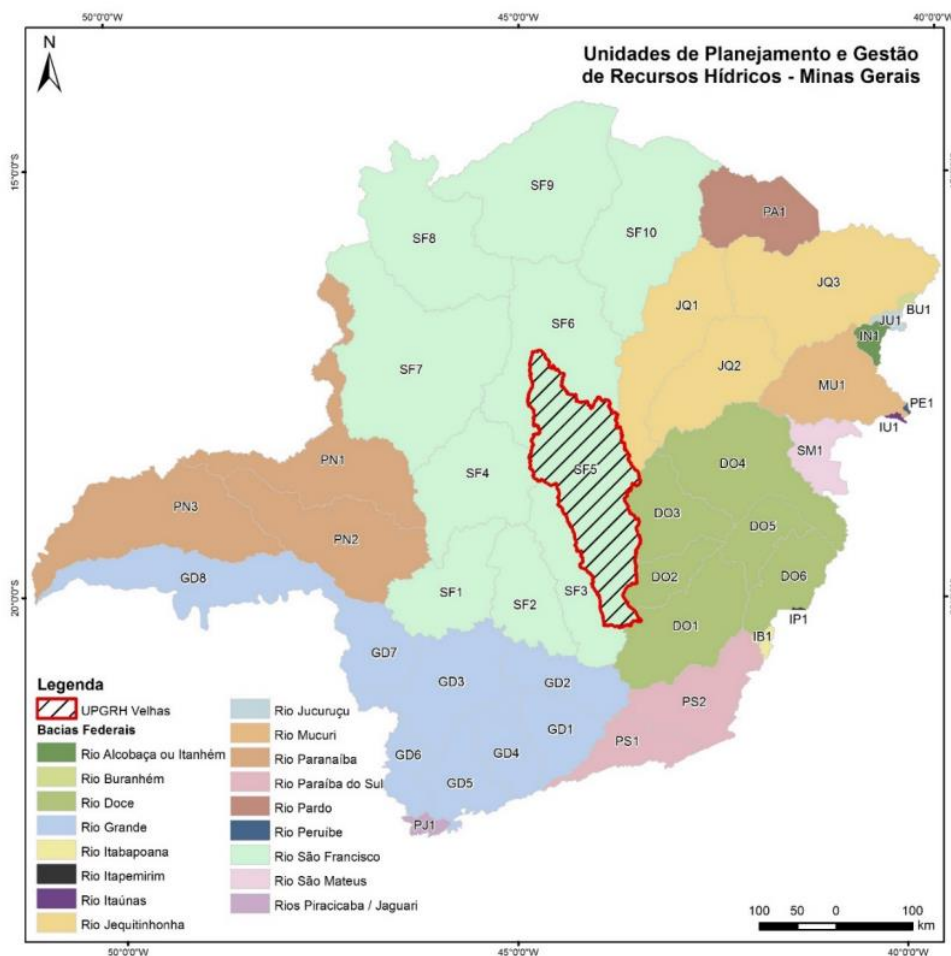
Para este estudo foi abordado neste tópico os resultados encontrados com base na metodologia proposta, bem como as discussões.

5.1 Área de estudo

5.1.1 Localização da área de estudo

Belo Horizonte está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, que está situada na região central do Estado de Minas Gerais, com uma área total de 27.850 km², entre as latitudes 17° 15' S e 20° 25' S e longitudes 43° 25' W e 44° 50' W. A forma da bacia é alongada e inclinada em direção norte--sul predominantemente, e corresponde à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) São Francisco 5 (SF5) de acordo com CBH VELHAS (2015) e conforme a Figura 5.1.

Figura 5.1 - Mapa da localização das UPGRH em Minas Gerais, com destaque para a Bacia do Rio das Velhas.



Fonte: CBH VELHAS (2015).

A área de abrangência do estudo foi delimitada a partir da Bacia do Rio das Velhas no município de Belo Horizonte. De acordo com os dados do Censo Demográfico (IBGE, 2022), o município de Belo Horizonte abriga uma população total de 2,32 milhões de habitantes (IBGE, 2022) com uma densidade demográfica de 6,98 mil hab./km² (IBGE, 2022). Essa concentração populacional forma uma grande mancha urbana na Bacia do Rio das Velhas.

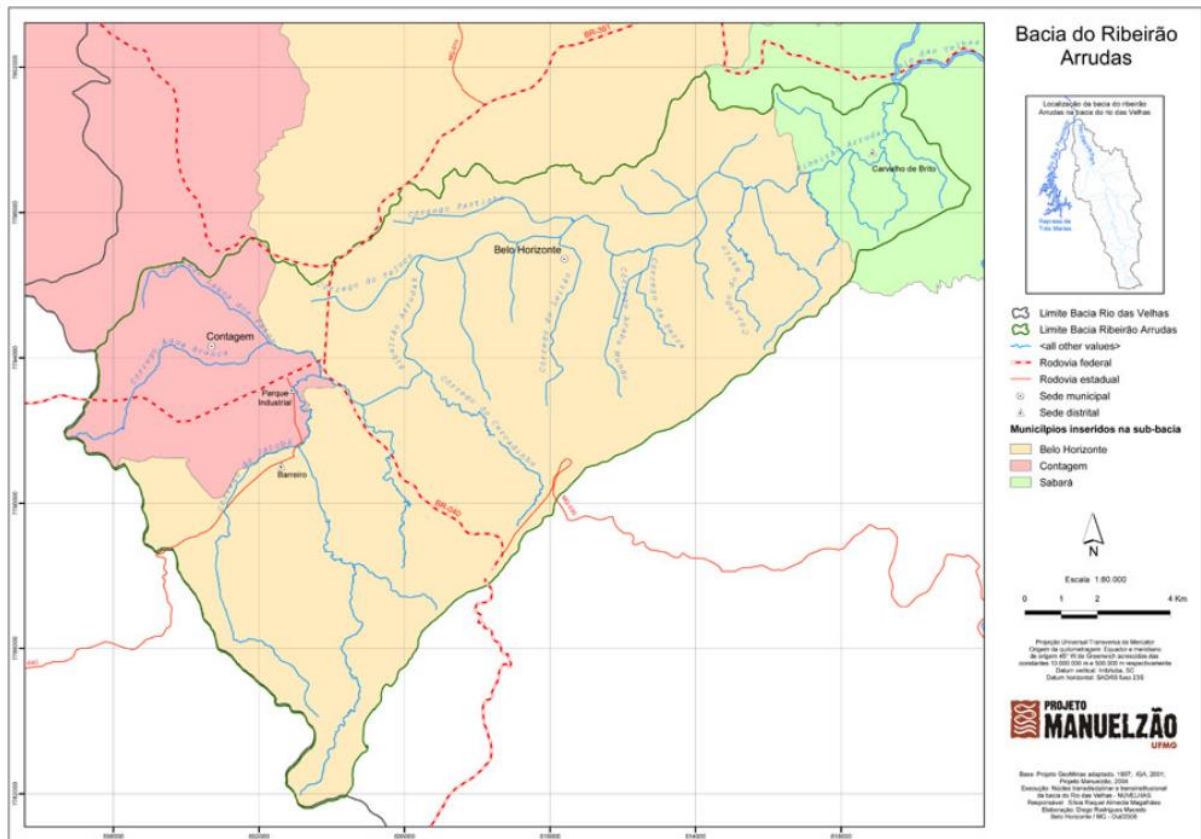
5.1.2 Característica da área de estudo

O limite municipal foi um dos critérios preponderantes para delimitação da área de estudo. No total, a área da cidade de Belo Horizonte é de 331,354 km², localizada na região centro-sul do estado de Minas, com relevo movimentado composto por colinas com declividades variadas, e altimetria que varia de 650m, na porção nordeste do município, a mais de 1.150m na Serra do Curral, nos limites sul e sudeste. O clima na área é classificado como tropical de altitude, apresentando temperaturas mínima, máxima e umidade relativas médias anuais de 18,0°C, 27,3°C e 68,3%, respectivamente. O vento predominante tem direção leste, com uma velocidade média anual de 1,5 m/s. A cidade possui aproximadamente 2.315.560 pessoas (INMET, 2023?; IBGE, 2022).

Belo Horizonte é um dos municípios que estão 100% inseridos na região do Alto rio das Velhas. Dentre as Unidades Territoriais Estratégicas (UTES) que compõem essa região fisiográfica, a capital mineira abrange uma porção de seu território no Ribeirão Arrudas (Figura 5.2) e também engloba uma parte no Ribeirão Onça (Figura 5.3), conforme CBH VELHAS (2023?).

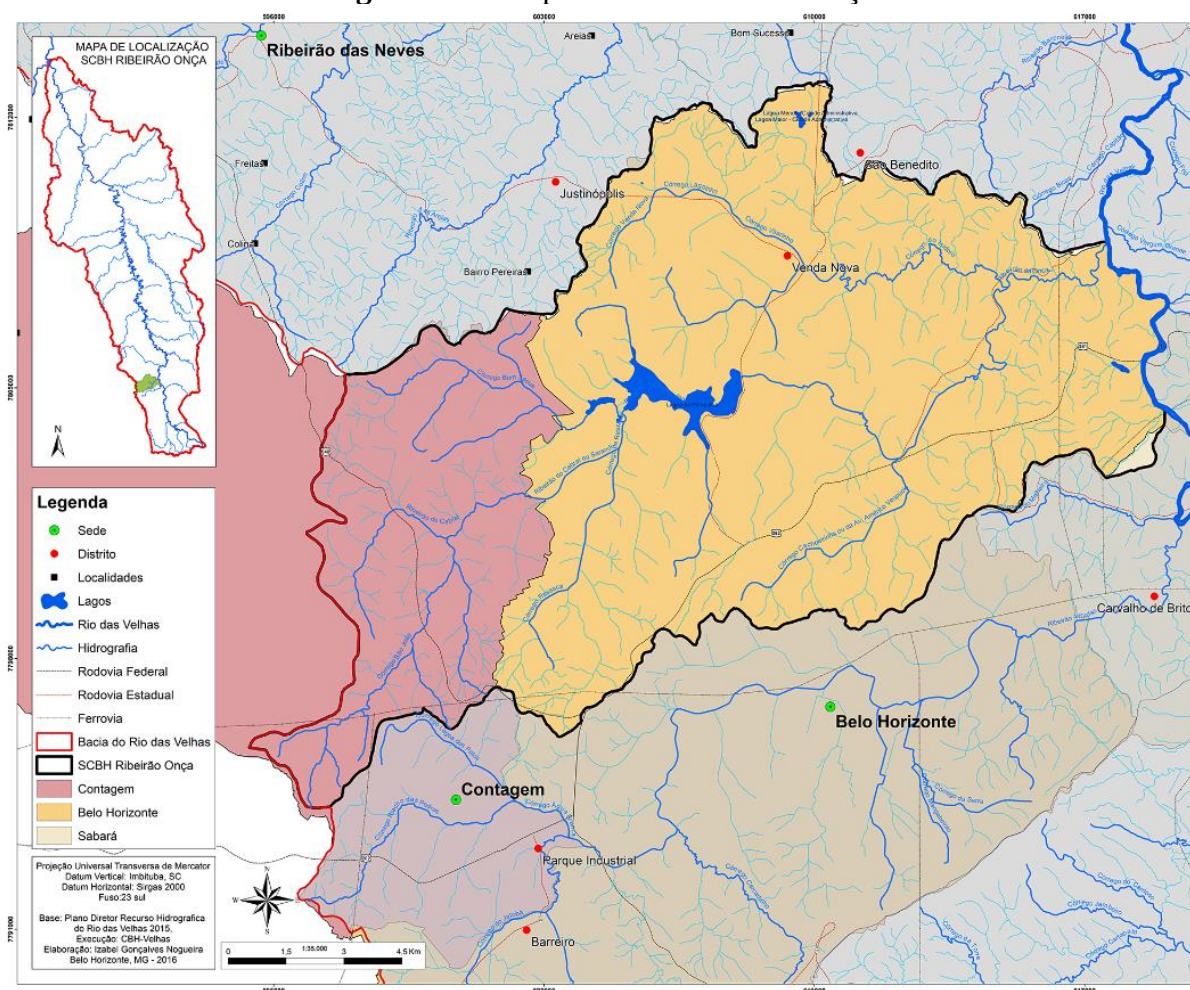
De acordo com CBH VELHAS (2023?), as unidades do Ribeirão Arrudas e Ribeirão Onça apresentam a maior concentração populacional da Bacia do Rio das Velhas. Como resultado, a qualidade de suas águas é comprometida devido aos despejos de esgotos e efluentes industriais. Ademais, caracteriza-se por um elevado grau de degradação, evidenciado pela presença de assentamentos irregulares e pela falta de infraestrutura sanitária e urbanística básica em algumas regiões. Além da supressão da mata ciliar dos cursos hídricos, da carga excessiva de sedimentos em seus leitos, do descarte clandestino de resíduos sólidos, da liberação de efluentes domésticos, da canalização e impermeabilização do solo, dentre outros. Esses fatores desencadeiam pressões que impactam diretamente o estado de preservação e conservação ambiental destes recursos hídricos.

Figura 5.2 – Mapa da UTE Ribeirão Arrudas.



Fonte: CBH VELHAS (2023?).

Figura 5.3 – Mapa da UTE Ribeirão Onça.



Fonte: CBH VELHAS (2023?).

5.1.3 Enquadramento do Rio das Velhas

O enquadramento dos corpos de água desempenha uma função de extrema importância no âmbito do planejamento, pois promove a integração entre as políticas de recursos hídricos e ambiental. Esse processo implica na conexão de diversos instrumentos de gestão da água, tais como a outorga do direito de uso de recursos hídricos e cobrança pelo uso de recursos hídricos, com os instrumentos de gestão ambiental como licenciamento, zoneamento e a criação de áreas territoriais especialmente protegidas (PROFILL, 2022).

O enquadramento dos corpos d'água em classes é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) que busca assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinados e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (BRASIL, 1997).

Para o enquadramento dos corpos d'água da Bacia do Rio das Velhas houve três etapas em seu processo. A primeira para identificação dos usos prioritários das águas, atuais e futuros, e estabelecimento do nível de qualidade (classe) a ser alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água ao longo do tempo. A segunda para avaliação da qualidade das águas, a partir do objetivo definido na Deliberação Normativa COPAM nº 10/86, que classifica as águas estaduais segundo seus usos preponderantes em classe especial, classe 1, 2, 3 e 4, referente ao enquadramento, e identificação dos desvios existentes. E a terceira para definição de um conjunto de medidas necessárias para se alcançar ou manter a qualidade dos diversos segmentos dos corpos d'água em correspondência com a sua classe (IGAM, 1997).

Vale ressaltar que atualmente a Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 8/2022 que está vigente para a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento em Minas Gerais. No artigo 4º as águas doces estaduais são classificadas em:

I – classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com filtração e desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II – classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas, inclusive em Terras Indígenas;
- c) à recreação de contato primário, conforme Resolução Conama nº 274, de 29 de novembro de 2000, ou norma que a substitua;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.

III – classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, ou norma que a substitua;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV – classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;

b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;

c) à pesca amadora;

d) à recreação de contato secundário;

e) à dessedentação de animais.

V – classe 4: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação;

b) à harmonia paisagística;

c) aos usos menos exigentes.

De acordo com PROFILL (2022), os rios sob jurisdição federal têm seu enquadramento aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, enquanto aqueles que têm competência estadual são avaliados pelos respectivos conselhos estaduais. A unidade SF5 do Rio das Velhas, situado em Minas Gerais, teve seu enquadramento aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais – CERH/MG. Vale ressaltar que, na época do enquadramento, a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) ainda não estava em vigência, e os conselhos de recursos hídricos ainda não existiam. Portanto, a aprovação dos enquadramentos dessas bacias ficou a cargo do Conselho Estadual de Política Ambiental, o COPAM, que agora está extinto.

Através da Deliberação Normativa COPAM nº 20, de 24 de junho de 1997, foi aprovado o enquadramento do Rio das Velhas classe 3 nos trechos (PROFILL, 2022):

- Rio das Velhas, desde confluência com o ribeirão Sabará até a confluência com o rio Jaboticatubas;
- Ribeirão Sabará, da confluência com o ribeirão do Gaia até a confluência com o Rio das Velhas;
- Ribeirão Sabará, da confluência com o ribeirão do Gaia até a confluência com o Rio das Velhas;
- Ribeirão Arrudas, a jusante do trecho canalizado, até a confluência com o rio das Velhas;
- Ribeirão da Pampulha/Ribeirão da Onça, do barramento da represa da Pampulha até a confluência com o rio das Velhas, com exceção do trecho canalizado.

Conforme detalhado no Plano Diretor de Recursos Hídricos (PDRH) do Rio das Velhas, a Deliberação Normativa nº 05/2004 do CBH Rio das Velhas autorizou uma modificação do

enquadramento, apresentando uma proposta de reenquadramento dos corpos de água, levando em consideração os objetivos estabelecidos pela Meta 2010/2014². No entanto, é importante observar que esta proposta não recebeu aprovação do COPAM ou o CERH. A situação atual ainda é muito distante da almejada pela Meta 2010/2014 (PROFILL, 2022).

Segundo a PROFILL (2022), neste momento, a situação atual dos corpos de água está consideravelmente distante daquela pretendida pela Meta 2010/2014. O PDRH Rio das Velhas estabelece diretrizes que incluem o reenquadramento do rio para a Classe 2 e a negociação da Proposta de Condições de Entrega das águas afluentes à calha do rio das Velhas. Esta última consiste em exigir uma condição de qualidade para as sub-bacias dos rios afluentes que desaguam no Rio das Velhas.

A circunscrição hidrográfica de Belo Horizonte na Bacia do Rio das Velhas, delimitada pela cor vermelha na Figura 5.4, mostra que a classe 3 (amarela) é predominante nesta circunscrição. A oeste possui o enquadramento de classe 2 (verde) na região da Pampulha e a leste possui o enquadramento classe 1 (azul claro). Ao sul da imagem existe o enquadramento classe especial (azul escuro).

Figura 5.4 – Enquadramentos da circunscrição hidrográfica do Rio das Velhas em Belo Horizonte.



Fonte: IDE – SISEMA adaptado (2023?).

² Meta 2010/2014 são metas, no período de 2010 e 2014, estabelecidas para alcançar uma realidade desejada para a Bacia do Rio das Velhas. Primeiramente foi o Projeto Meta 2010 e depois o Projeto Meta 2014: “nadar, pescar e navegar no rio das Velhas, na RMBH” (CBH VELHAS, 2015).

5.1.4 Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas

O Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas - PDRH 2015 não é o primeiro Plano Diretor da Bacia, mas sim o sucessor do anterior de 2004. O PDRH 2004 desempenhou uma função fundamental ao possibilitar a implementação de instrumentos de cobrança dos recursos hídricos e o cumprimento das metas estabelecidas pelo mesmo, proposta inicialmente pelo Projeto Manuelzão – UFMG, que tinha o objetivo de revitalização do Rio das Velhas, possibilitando a navegação, pesca e nado no rio no trecho da região metropolitana de Belo Horizonte de acordo com o CBH VELHAS (2015).

Segundo o CBH VELHAS (2015), o PDRH 2015 analisou os progressos alcançados em relação ao plano da Meta 2010/2014. Isso envolveu a implementação de medidas destinadas a melhorar a qualidade das águas, como a expansão da coleta e tratamento de 60% dos esgotos na região metropolitana, iniciativas de mobilização social, o retorno da fauna aquática, como a presença de peixes no médio e alto Rio das Velhas.

5.2 Análise dos dados

5.2.1 Diagnóstico da qualidade da água superficial e subterrânea

A Bacia do Rio das Velhas é a quinta circunscrição hidrográfica do Alto São Francisco (SF5). De acordo com IGAM (2021), as estações localizadas nas calhas do Rio das Velhas possuem campanhas de amostragem mensais, em vez de amostragens trimestrais como os demais rios. Isso pode ser explicado pelo fato de o Rio das Velhas apresentar as piores faixas de Índice- de Qualidade das Águas – IQA (Ruim e Muito Ruim) e alta Contaminação por Tóxicos – CT dentre os afluentes do Rio São Francisco, principalmente a jusante de grandes centros urbanos como RMBH. Esses resultados são um reflexo das influências exercidas pelas populosas áreas urbanas na Região Metropolitana de Belo Horizonte sobre os cursos d'águas que atravessam a região.

Segundo o IGAM (2021), na Bacia do Rio São Francisco, o Rio das Velhas se destaca, pois, 31% das análises realizadas em 2020 resultaram níveis mais elevados do Índice de Estado Trófico (IET), o que indica que os corpos d'água estão com produtividade excessiva de nutrientes em relação as condições naturais, que está atrelado aos impactos humanos, podendo gerar a proliferação de algas. Ademais, a contagem de densidade de cianobactérias nas sub-bacias do Rio das Velhas era superiores a 1.000.000 cél/mL. Dentre as violações de

cianobactérias registradas está o corpo da Lagoa Central de Lagoa Santa próximo ao vertedouro.

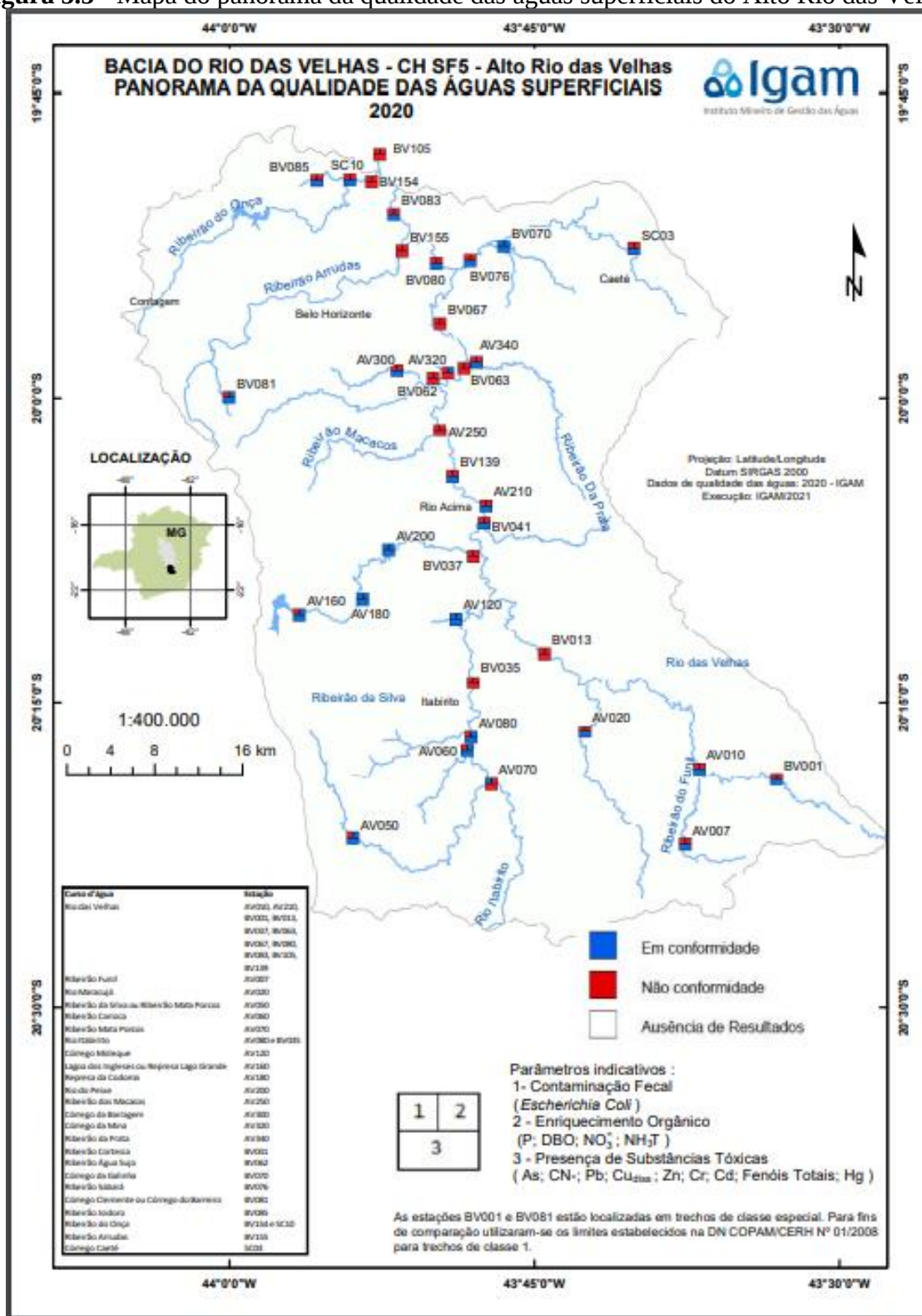
Com respeito aos ensaios ecotoxicológicos, os incidentes de efeito agudo na Bacia do Rio das Velhas originam-se principalmente dos despejos de esgoto doméstico e de efluentes industriais provenientes de uma variedade de indústrias localizadas nos municípios de Raposos e Santa Luzia (IGAM, 2021).

Ademais, de acordo com o IGAM (2021), no alto curso da Bacia do Rio das Velhas, mais especificamente na região de Nova Lima, é onde se encontram concentradas fontes de arsênio. Essas fontes incluem tanto as ocorrências naturais do elemento como a atividade de beneficiamento de minério de ouro, que contribui para a liberação desse elemento no corpo d'água.

Para ilustrar melhor o panorama da qualidade das águas superficiais, a Figura 5.5 apresenta as condições do Alto Rio das Velhas, que inclui a cidade de Belo Horizonte. Pode-se perceber que a qualidade a montante, no ponto BV081, do Ribeirão Arrudas, está na maior parte em conformidade com a DN COPAM/CERH N° 01/2008, considerando que está em trechos de classe especial. É importante mencionar que é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes de poluição, mesmos que tratados em as águas de classe especial (art. 27, DN COPAM/CERH N° 01/2008; art.30, DN COPAM/CERH N°08/2022). Contudo, ao passar pela cidade de Belo Horizonte, o afluente Arrudas entra na classificação de não conformidade na estação do ponto BV155 (IGAM, 2021).

Com relação a análise de qualidade das águas, o trabalho feito pelo IGAM (2021) considerou a antiga DN COPAM/CERH N° 01/2008. Atualmente está vigente a DN COPAM/ CERH N° 8/2022 que revogou a antiga deliberação normativa.

Figura 5.5 - Mapa do panorama da qualidade das águas superficiais do Alto Rio das Velhas.

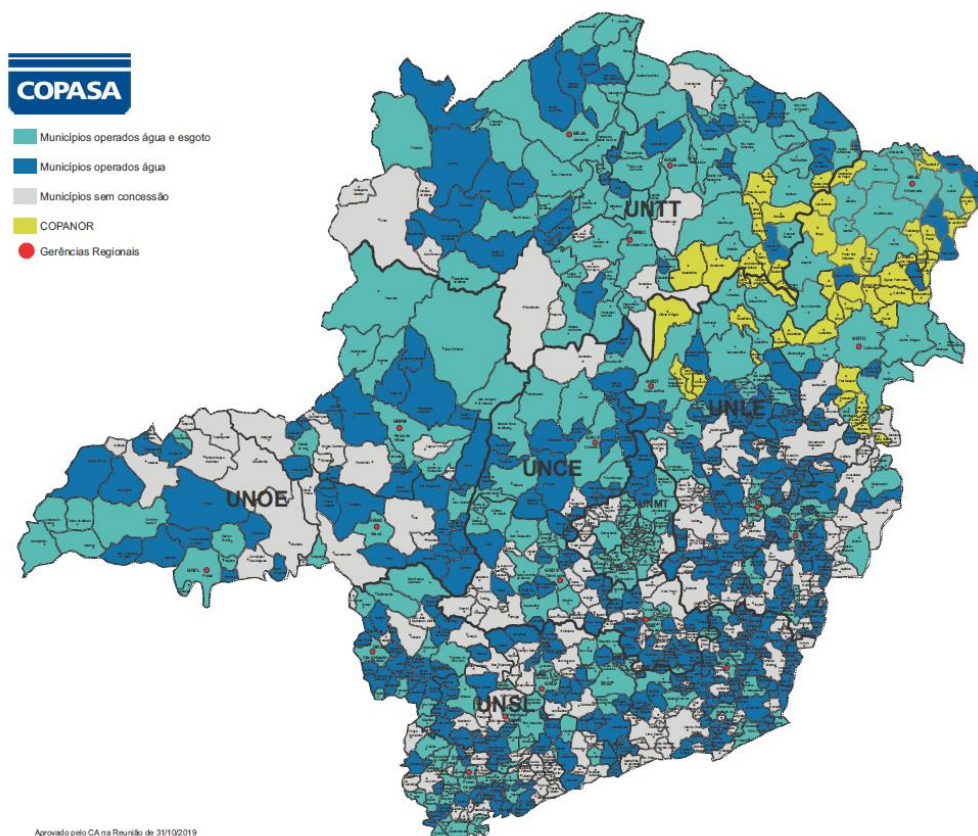


Fonte: IGAM (2021).

5.2.2 Reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA MG está presente em 640 municípios mineiros dos 853. A cidade de Belo Horizonte possui atendimento desta companhia de água e esgoto. Na Figura 5.6 observa-se o atendimento pela COPASA MG em todo estado de Minas Gerais.

Figura 5.6 - Mapa do panorama dos municípios atendidos em Minas Gerais.



Fonte: COPASA (2019).

Segundo o Relatório de Fiscalização feito pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE – MG, 2013), o Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) abrange 16 dos 34 municípios, que são: Belo Horizonte, Betim, Contagem, Ibirité, Igarapé, Juatuba, Mário Campos, Mateus Leme, Nova Lima, Raposos, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Sabará, Santa Luzia, São Joaquim de Bicas e Sarzedo. Este sistema pode ser subdividido em duas principais bacias de abastecimentos:

- Bacia do Rio Paraopeba (Rio Manso, Serra Azul, Vargem das Flores, Ibirité), que corresponde a 60% da RMBH e abrange predominantemente a região oeste;

- Bacia do Rio das Velhas (Rio das Velhas, Morro Redondo, Barreiro), que corresponde a 40% e abrange a região leste.

De maneira geral, a Figura 5.7 ilustra todo o abastecimento que Belo Horizonte está incluído, e a Figura 5.8 mostra a configuração dos sistemas de produção na RMBH distinguindo os sistemas integrados por cores.

Figura 5.7 – Sistemas produtores de água da RMBH.

RM Belo Horizonte - MG		
Sistema Produtor	Principais Mananciais	Sedes Urbanas Atendidas
INTEGRADO PARAÓPEBA	Rio Manso, Serra Azul e Vargem das Flores	Belo Horizonte, Betim, Contagem, Esmeraldas, Ibirité, Igaratê, Juatuba, Mário Campos, Mateus Leme, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Santa Luzia, São Joaquim das Bicas, Sarzedo, Vespasiano
INTEGRADO RIO DAS VELHAS	Rio das Velhas	Belo Horizonte, Nova Lima, Raposos, Sabará, Santa Luzia
INTEGRADO CATARINA	Córrego Catarina	Belo Horizonte, Brumadinho
INTEGRADO IBIRITÉ	Bálsamo, Rola Moça e Tabões	Belo Horizonte, Ibirité
INTEGRADO MORRO REDONDO	Cercadinho, Fechos e Mutuca	Belo Horizonte, Nova Lima
ISOLADOS	Mananciais Superficiais/ Mistos	Belo Horizonte, Caeté, Florestal, Itaguara, Itatiaçu, Jaboticatubas, Nova União, Rio Acima, Taquaraçu de Minas
	Poços	Baldim, Capim Branco, Confins, Lagoa Santa, Matozinhos, Rio Manso, São José da Lapa

Fonte: ANA (2010).

O Sistema de Produção de água do Rio das Velhas é composto pela captação superficial (8.771 l/s), estação de tratamento de água - ETA convencional (8.000 l/s), estações elevatórias, adução e reservatórios de capacidade de 19.000 m³ para reservação e fornecimento de água ao sistema na “hora de ponta” e 32.000 m³ para complementação vazão do sistema Rio das Velhas (ARSAE – MG, 2013).

A captação do sistema Rio Velhas é do tipo superficial de acordo com ARSAE - MG (2013), com tomada direta no rio das Velhas, localizada no distrito de Bela Fama, município de Nova Lima, Minas Gerais. Segue a Figura 5.9 que ilustra o sistema Rio das Velhas.

produção de água Serra Azul está na Figura 5.10 abaixo.

Figura 5.10 - Fluxograma do Sistema de Produção Serra Azul.



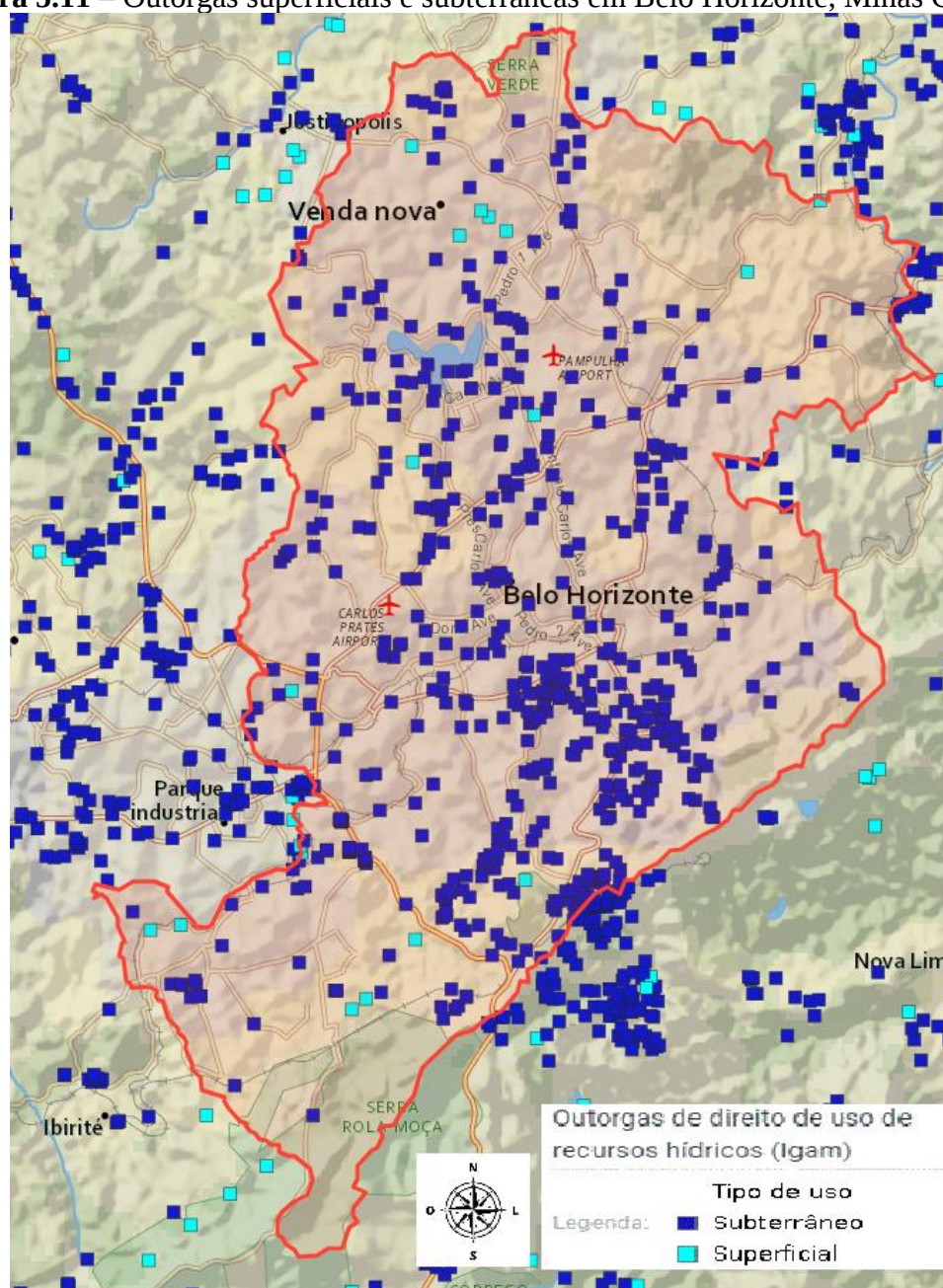
Fonte: ARSAE - MG (2013).

De acordo com o SNIS (2021), o abastecimento de água de Belo Horizonte em Minas Gerais é feito pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), sendo que 94,95% da população total da cidade tem acesso aos serviços de abastecimento de água. A média do estado de Minas Gerais é de 82,4% e, do país, 84,2%.

5.2.3 Identificação das outorgas superficiais e subterrâneas

De acordo com a base de dados de IDE-SISEMA (2023?), representado na Figura 5.11, Belo Horizonte possui 20 outorgas superficiais e 584 outorgas subterrâneas vigentes, com vazões outorgadas de 0,19 e 0,74 m³/s respectivamente.

Figura 5.11 – Outorgas superficiais e subterrâneas em Belo Horizonte, Minas Gerais.



Fonte: Adaptado de IDE – SISEMA (2023?).

5.3 Análise do ISH da Dimensão Humana

Para compreender o panorama de segurança hídrica em Belo Horizonte, foi necessário realizar uma análise do Índice de Segurança Hídrica (ISH) na Dimensão Humana, utilizando os dados disponibilizados pela ANA (2022) que são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1- Variáveis da Dimensão Humana para o cálculo do ISH de Belo Horizonte – PNSH.

ANO	População Urbana	População em Risco Iminente	Percentual de população em Risco Iminente	População em Risco Pós-Déficit	Percentual de população em Risco Pós - Déficit
2017	2.523.794	645.411	25,57%	543.009	21,52%
2035	2.814.444	600.274	21,33%	972.026	34,54%

Fonte: Adaptado de ANA (2022).

Conforme dados obtidos de ANA (2022), na Tabela 5.2, o ISH da Dimensão Humana está na classe 2, baixa como destacado, resultado da população em risco percentual e absoluta de acordo com Figura 4.4. Para que houvesse melhoria desse ISH em 2035, conforme Figura 4.4, a população percentual em risco deveria estar na faixa de 0 a 20%, e, considerando o limiar mínimo de 20% para a população estimada de 2.814.444, isso corresponderia a mais de meio milhão de habitantes. Isso significa que dificilmente seria possível reduzir a população em risco a níveis abaixo de 50.000, de modo a obter ISH acima de 4, pois essa população corresponderia a menos de 2% de população percentual em risco. Portanto, provavelmente, o melhor ISH para essa dimensão seria de 3.

Tabela 5.2 – ISH da dimensão humana de Belo Horizonte.

ANO	População em Risco Total	Percentual de população em risco no município para o respectivo cenário.	Classe (1-5) do Índice de Segurança Hídrica	ISH Humano – PNSH
2017	1.188.420	47,09%	2	Baixa
2035	1.572.300	55,87%	2	Baixa

Fonte: Adaptado de ANA (2022).

Como a população em risco de desabastecimento é uma estimativa da relação entre disponibilidades e demandas (Disp/Dem), é fundamental concentrar os esforços nessas áreas específicas. Com base na identificação do déficit, estimou-se a disponibilidade hídrica (Disp) considerando a condição $(Disp/Dem) < 1$ (ANA, 2019a), obtida pela equação 4.5. Substituindo o valor de FR (Total) igual a 0,471 (ANA, 2022) do ano de 2017 e demanda igual a 7,11 m³/s (ANA, 2019a) na equação 4.5, obtêm-se que a disponibilidade hídrica para o ano de 2017 é 5,64 m³/s.

Segundo ANA (2019a), no Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNRH), o ISH foi calculado para dois cenários distintos, referentes aos anos 2017 e 2035. As variações nos

cenários foram atribuídas a 2 variáveis: as estimativas de demanda por água do Manual de Usos Consuntivos, que afetam o resultado do balanço hídrico e, por conseguinte, todos os indicadores vinculados a esse fator; e a estimativa da população urbana, influenciando apenas o ISH da Dimensão Humana.

Dessa forma, calculou-se a demanda estimada para 2035, considerando a equação 4.6. Substituindo os valores de FR_t igual a 0,559 (ANA, 2022) para o ano de 2035, e considerando que a disponibilidade calculada anteriormente para 2017, de 5,64 m³/s, se manteria constante, obtém-se a demanda para o ano 2035 de 8,52 m³/s.

Com objetivo de analisar o efeito da melhoria da disponibilidade hídrica sobre a ISH, inicialmente foram realizados cálculos da disponibilidade para diferentes aumentos percentuais da disponibilidade, conforme Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Percentual de crescimento da disponibilidade hídrica.

Disponibilidade (m³/s)	Percentual (%)
5,64	0
6,20	10
6,77	20
7,33	30
7,90	40
8,46	50
9,02	60
9,59	70
10,15	80
10,72	90
11,28	100

Fonte: Autora (2023).

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 5.3, o aumento de 50% da disponibilidade (8,46 m³/s) ainda não seriam suficientes para suprir a demanda estimada de 8,52 m³/s em 2035. Dessa forma, a disponibilidade em 2035 teria que ser maior que 50% da disponibilidade de 2017. Aumentar a disponibilidade hídrica é uma tarefa desafiadora, bem como reduzir a demanda, uma vez que a população continua a crescer.

Para alcançar uma melhoria no Índice de Segurança Hídrica (ISH) na dimensão humana de 2035, conforme indicado na Figura 4.4, seria necessário que a população percentual em risco se situasse na faixa de 0 a 20%. Contudo, a fórmula para estimar a disponibilidade deduzida anteriormente, na equação 4.5, só pode ser utilizada para casos de $Disp/Dem < 1$. Isso significa que no limiar, só poderia ser aplicado para $FR_t < 33,33\%$ conforme a Figura 4.6 da

metodologia do ISH da ANA (2019a) e a dedução da equação 4.8 para colocar a disponibilidade em evidência na equação 4.9.

Com base na equação 4.9, se considerar (Disp/Dem) igual a 1, FRi é igual a 33,33%, conforme na Figura 4.6. Diante disso, considerando que esse percentual seja 20%, para sair da classe 2 e ir para a 3, com a população estimada de 2.814.444 habitantes em 2035, e a demanda estimada para 2035 igual a 8,524 m³/s, a disponibilidade hídrica necessária para alcançar uma melhoria do ISH dessa dimensão seria de 11,004 m³/s.

Para aumentar o ISH humano, segundo a Figura 4.4, para 4, seria necessário manter a população percentual em risco na faixa de 0 a 20% e reduzir a população urbana de risco absoluta de 1.572.300 habitantes em 2035 para no mínimo 50.000 habitantes. No caso de aumentar o ISH para 5, seria a mesma faixa percentual com a redução da população urbana de risco absoluta para no mínimo 5.000 habitantes; ou a faixa percentual entre 20% e 40% e a população urbana de risco absoluta menor que 2.000 habitantes; ou a faixa percentual de 0 a 20% e a população urbana de risco absoluta menor que 2.000 habitantes. Essa possibilidade de aumento do ISH foi estimada e apresentada na Tabela 5.4, considerando que a demanda não se alteraria e o cálculo da disponibilidade foi com base na equação 4.9 em que a (Disp/Dem) > = 1.

Tabela 5.4 – Melhoramento do ISH de 2035 na dimensão humana.

Demanda	Disponibilidade	Grau do ISH	População Urbana total	População Urbana em Risco (absoluta)	População Urbana em Risco (%)
8,524	11,004	3	2.814.444	562.889	0,200
8,524	36,922	4	2.814.444	50.000	0,018
8,524	82,561	4	2.814.444	10.000	0,004
8,524	116,759	5	2.814.444	5.000	0,002
8,524	184,658	5	2.814.444	1.999	0,001
8,524	184,658	5	2.814.444	1.999	0,001

Fonte: Autora (2023).

Os resultados da Tabela 5.4 mostram que o aumento da disponibilidade é mais impactado pelo valor absoluto da população urbana em risco do que pelo seu percentual. Dado a necessidade de redução tão significativa da população urbana em risco absoluta para alcançar um ISH de 4, ou até mesmo para atingir o ISH de 5, esse cenário não parece viável em meio a uma cidade tão populosa e com diversos conflitos como Belo Horizonte.

Entretanto, é imprescindível empreender esforços para ampliar a disponibilidade e reduzir a demanda. De maneira geral, existem diversas estratégias e práticas adotadas para aumentar a disponibilidade hídrica, como a Agenda Estratégica Azul, presente no Plano Diretor dos Recursos Hídricos do Rio das Velhas, que concentra esforços na questão da disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos na bacia através do estabelecimento de metas como:

1. Tratamento de esgoto nos trechos mais comprometidos do alto rio das Velhas (enquadramento em Classe 2):
 - Até 2016: Intercepção de 100% do esgoto da Região Metropolitana de Belo Horizonte;
 - Até 2018: Implantação do sistema de tratamento terciário nas ETE Arrudas e Onça;
 - Até 2022: 60% do esgoto da Região Metropolitana de Belo Horizonte deverá contar com tratamento terciário;
 - Até 2026: 80% do esgoto da Região Metropolitana de Belo Horizonte deverá contar com tratamento terciário.
2. Enquadramento em Classe 2:
 - Até 2018: a bacia terá um novo enquadramento por trechos de rio com classes compatíveis com as categorias especial, 1 e 2 e com suas demandas atendidas por vazões de referência diferenciadas.
3. Oferta de água:
 - Até 2020: a oferta de água na bacia será ampliada, seja pelo aumento absoluto da vazão e/ou pela liberação de vazões outorgáveis, evitando a restrição ou cancelamento de concessões de novas outorgas nos trechos com capacidade de suporte esgotada ou com futuros usos prioritários previstos (PDRH Rio das Velhas, 2015).

De maneira geral, essas metas são mais voltadas a melhoria da qualidade da água, principalmente através do tratamento adequado de esgoto. No entanto, em termos quantitativos, destaca-se a importância no aumento da disponibilidade e na exploração de

medidas que reduzam a demanda, especialmente diante deste cenário, como a minimização das perdas de água e a adoção de práticas mais racionais por parte dos usuários a no consumo de água.

5.3.1 *Diagnóstico da demanda*

De maneira abrangente, compreende-se que a demanda de água está relacionada à quantidade de água necessária para atender as diversas atividades e necessidades de uma determinada população em um determinado tempo. O aumento da população e o desenvolvimento econômico estão diretamente relacionados ao aumento da demanda de água.

De acordo com os resultados apresentados neste estudo, a redução da demanda é essencial para melhorar o Índice de Segurança Hídrica na dimensão humana. Com isso, a gestão sustentável da água envolve entender e gerenciar a demanda de água, implementando práticas eficientes, evitando perdas de água, reutilização de água e promovendo a conscientização sobre o uso responsável desse recurso vital.

No que se refere às perdas de água, atualmente, de acordo com o Boletim do Saneamento (2023?), existem desafios significativos tanto para sociedade quanto para as prestadoras de serviço. Os impactos das perdas de água abrangem várias dimensões, cada uma com suas implicações específicas, seja política, econômica, social, legal ou ambiental.

O desperdício de água implica em significativos custos ambientais e financeiros. No contexto ambiental, essas perdas representam uma exploração excessiva dos recursos hídricos, acarretando custos adicionais para mitigar os possíveis impactos negativos do abastecimento de água. Além disso, na fase de produção de água tratada, as despesas são elevadas com relação aos insumos químicos utilizados, energia para bombeamento, manutenção de redes e equipamentos, utilizando de forma desnecessária a capacidade de produção e distribuição (BOLETIM DO SANEAMENTO, 2023?).

O recente marco legal do saneamento, por meio da Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, traz novas diretrizes para que os municípios enfrentem e reduzam as perdas de água. É importante o cumprimento das metas nos contratos relacionados à prestação de serviços de saneamento, juntamente com a definição de ações para a redução progressiva e controle dessas metas.

Através do Decreto Federal nº 10.588/20, revogado pelo Decreto nº 11.599 de 2023, o

Governo Federal regula operações e fornece apoio técnico e financeiro conforme estipulado pelas leis de saneamento básico. Este decreto estabelece que o indicador de perdas de água na distribuição (IPD) é o instrumento a ser empregado como meio de comprovação para que um município se habilite a obter recursos federais.

A Portaria nº 490/2021 do governo federal em seu artigo 3º, parágrafo 1 estabeleceu no mínimo o cumprimento da redução de 25% o IN049 - índice de perdas na distribuição (IPD) e de 216,0 litros/ligação/dia para o IN051 – índice de perdas por ligação (IPL) pelos municípios para que estes recebam recursos da união (BRASIL, 2021).

O panorama atual da cidade de Belo Horizonte com relação ao índice de perdas na distribuição de água (IN049) é apresentado na **Tabela 5.5** a seguir. Cabe ressaltar que o índice de perdas por ligação (IN051) não será analisado, uma vez que seria necessário estimar essas ligações no município.

Tabela 5.5 – Índice de perdas na distribuição de água de Belo Horizonte.

ANO	IN049 - Índice de perdas na distribuição	Porcentagem
2017	37,56	100%
2023/2024	35,68	95%
2025/2026	33,80	90%
2027/2028	31,93	85%
2029/2030	30,05	80%
2031/2032	28,17	75%
2033	26,29	70%
2034	24,41	65%

Fonte: Autora (2023).

Em 2017, o índice de perdas na distribuição em Belo Horizonte registrou 37,56%, conforme apresentado na Tabela 5.5, com base nos dados do SNIS (2017). Considerando esse valor como absoluto, buscou-se inferir os possíveis cenários caso esse índice fosse reduzido ao longo dos anos, seguindo as diretrizes estabelecidas pela Portaria nº 490/2021.

A demanda para o ano de 2035, no valor de 8,52 m³/s, considerou as perdas de 37,56%. Com isso, ao contemplar a redução das perdas, de acordo com a Tabela 5.5, parte-se da hipótese que essa redução seria uniforme para todos os setores, embora na realidade este índice se aplicaria para a redução do índice de abastecimento público. Nessa perspectiva, estimou-se a demanda considerando uma perda de 24,41%, resultando no valor de 7,40 m³/s.

Ao analisar o Índice de Segurança Hídrica (ISH) humano em 2017, que foi de grau 2 com

uma demanda de 7,11 m³/s, e o índice para 2035, também de grau 2 com uma demanda de 8,52 m³/s, concluiu-se que a demanda estimada para 2035, de 7,40 m³/s, situa-se entre os valores de 2017 e 2035, mesmo com a redução no consumo. Observa-se que o ISH humano não apresentaria melhorias.

Essa constatação sugere que a simples redução do índice de perdas não seria suficiente para aprimorar a segurança hídrica. Portanto, seria necessário adotar outras medidas, além do aumento da disponibilidade hídrica e redução do consumo, a fim de efetivamente fortalecer a segurança hídrica no município.

5.4 Análise da vulnerabilidade hídrica

Segundo os dados fornecidos pela ANA (2022), O ISH na dimensão humana de grau 2 do município de Belo Horizonte indica uma situação de baixa segurança, conforme mostra a Tabela 5.2. Comparando com a Tabela 4.1, infere-se que a vulnerabilidade atinge um grau de Risco Alto.

Os resultados evidenciam a necessidade de implementar esforços consideráveis na disponibilidade hídrica e demanda de água em Belo Horizonte, uma vez que o ISH considera o cálculo de acordo com os limites municipais. Diante disso, observa-se que, atualmente, Belo Horizonte não enfrenta escassez hídrica devido ao fornecimento de água provenientes de outros municípios além de seu espaço geográfico.

Ademais, a integralidade da água no município é prejudicada devido à liberação de efluentes domésticos e industriais, a intensa degradação por meio da remoção da vegetação ciliar ao longo dos rios, o mau uso e ocupação do solo com impermeabilização deste, falta de infraestrutura, dentre outros. Diante disso, o PDRH 2015 avaliou avanços em relação as metas estabelecidas, como a expansão da coleta e tratamento de 60% dos esgotos na região metropolitana. Contudo, o Rio Arrudas quando passa por Belo Horizonte apresenta um quadro de não conformidade segundo a legislação (CBH VELHAS, 2015; IGAM, 2021).

6. CONCLUSÕES

Ao analisar a razão entre a disponibilidade e demanda de água (Disp/Dem), os valores sempre resultam em valores menores que um. Isso indica que Belo Horizonte não teria água suficiente para atender às suas demandas internas. Entretanto, é crucial lembrar que o cálculo do Índice de Segurança Hídrica considera apenas a rede hidrográfica que pertence apenas ao território do município. Se fosse considerado só o território de Belo Horizonte, seria necessário implementar medidas imediatas de racionamento para minimizar a falta de água. Contudo, dado que o abastecimento do município é realizado por meio de um sistema integrado de abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a falta de água é suprida por recursos hídricos de outras regiões externas ao município.

Apesar disso, a redução da disponibilidade hídrica, a crescente demanda de água e a degradação da qualidade dos recursos hídricos podem influenciar em um possível cenário futuro de racionamento de água. O presente estudo destaca que a redução da demanda de água, somente pelo índice de perdas, não seria suficiente para melhorar a segurança hídrica. Além disso, tendo em vista a necessidade de uma redução expressiva da população urbana em risco para alcançar ISH humano mais elevados do que 3, como os valores 4 ou 5, para uma maior disponibilidade, isso mostra não ser um cenário viável em um município tão populoso como o de Belo Horizonte.

Dessa forma, torna-se necessário propor medidas efetivas para lidar com os desafios e promover uma mudança positiva no cenário de disponibilidade hídrica. O sucesso dessas implementações depende de um bom planejamento das medidas adotadas e o envolvimento integrado e participativo de diversos setores da sociedade, não somente do poder público. Os instrumentos de gestão dos recursos hídricos como incentivos econômicos, cobrança pelo uso do recurso hídrico, outorgas de direito de uso, dentre outros, são essenciais para a melhora deste cenário.

Por fim, é importante ressaltar que os valores do ISH não devem ser utilizados como valores absolutos de segurança hídrica, ou de forma complementar, de vulnerabilidade hídrica, mas sim como valores indicativos da situação dos municípios, visto que a metodologia proposta pela ANA (2019a) não apresenta justificativas para as escolhas metodológicas, como na definição dos limites para classificar o grau de segurança dos fatores que compõem as dimensões.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que sejam realizadas análises das demais dimensões (Econômica, Ecológica e Resiliência) do Índice de Segurança Hídrica (ISH) para avaliar a influência sobre a vulnerabilidade hídrica.

Recomenda-se, que seja feita uma revisão da metodologia exposta pela ANA (2019a), apresentando mais detalhes dos cálculos e dos dados utilizados em cada dimensão, como por exemplo as tabelas que não foram publicadas, mas, que contribuíram no apoio do cálculo do ISH de cada município.

Recomenda-se que confirmem as fontes citadas como “Atlas Brasil: abastecimento urbano de água” (ANA, 2010) e “Manual de usos consultivos” (ANA, 2019a) que não disponibilizam os dados necessários pela metodologia para cálculo do ISH de todos os municípios do Brasil.

Recomenda-se que a ANA disponibilize no dicionário das planilhas ANA (2022) ou uma nova planilha a parte com o Código da ACH (área de contribuição hidrográfica) – campo de JOIN com a BHO 2013 referente a área de cada município no Brasil. Isso é extremamente significativo para a compreensão do ISH das dimensões ecológica e de resiliência.

Por fim, recomenda-se que sejam investigadas outras potenciais medidas para diminuir a vulnerabilidade hídrica em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

REFERÊNCIAS:

AMARAL, L. A.; FILHO, A. N.; JUNIOR, O. D. R.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. **S. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais.** Revista de Saúde Pública. 2003, v. 37, n.4, pp. 510-514. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102003000400017>. Acesso em: 15 maio 2023.

ANA. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil / The Evolution of Water Resources Management in Brazil.** Brasília: ANA, 2002. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/AEvolucaoDaGestaoDosRecursosHidricosnoBrasil.pdf> . Acesso em: 14 abr. 2023.

ANA. **Atlas Brasil Abastecimento Urbano de Água - Resultados por Estado – Volume 2.** Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <http://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/154>. Acesso em: 09 nov. 2023.

ANA. **Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas.** Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2017/AtlasEsgotosDespoluicaoDeBaciasHidrograficas.pdf> . Acesso em: 15 abr. 2023.

ANA. **Catálogo de Metadados da ANA – Índice de Segurança Hídrica.** Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66>. Acesso em: 23 nov. 2023.

ANA. **Catálogo de Metadados da ANA.** Brasília: ANA, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/7659a732-8d1a-4485-bb6b-44a689c5ff9d>. Acesso em: 24 out. 2023.

ANA. **Índice de Segurança Hídrica – ISH- Manual Metodológico.** Versão 1.0. Agência Nacional de Águas, Engecorps Engenharia S.A. Dez. 2019a. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia_ISH.pdf. Acesso em: 26 abr. 2023.

ANA. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** 2ª ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2002/IntroducaoAoGerenciamentodeRecursosHidricos.pdf> . Acesso em: 16 abr. 2023.

ANA. **Manual de Usos Consultivos da Água no Brasil.** Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019b. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consultivos_da_agua_no_brasil.pdf. Acesso em: 06 nov. 2023.

ANA. **Plano Nacional de Segurança Hídrica - PNSH.** Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019c. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

ARSAE – MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Relatório de Fiscalização. Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH. Bacia Rio das Velhas.** Belo Horizonte. Dez. 2013. Disponível em: http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_bacia_rio_das_velhas.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.

ARSAE – MG. Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais. **Relatório de Fiscalização. Sistema Integrado de Abastecimento de Água da RMBH. Bacia Paraopeba.** Belo Horizonte. Dez. 2013. Disponível em: http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/rf_tec_op_saa_sistema_bacia_paraopeba.pdf. Acesso em: 08 set. 2023.

BASTOS, S. Q.; JUNIOR, A. A. B.; GOMES, B. S. M. e DINIZ, J. A. S. **Evidências entre a qualidade das bacias hidrográficas e as características dos municípios de Minas Gerais.** Artigo. Rev. Econ. Socio Rural 56. Jan-Mar 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560109>. Acesso: 09 abr. 2023.

BOLETIM DO SANEAMENTO. **Marco do saneamento obriga planos para redução de perdas.** Associação Brasileira de Consultores de Engenharia (ABCE), Associação Paulista de Empresas de Consultores e Serviços em Saneamento e Meio Ambiente (APECS), Sindicatos da Arquitetura e da Engenharia (SINAENCO). [2023?]. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/gestao-de-perdas/>. Acesso em: 18 nov. 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 24 maio 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 [...]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 18 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 9 jan. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. Acesso em: 24 maio 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília, 2007. 192p. Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/pdf/vulnerabilidade-ambiental-desastres-naturais-ou-fenomenos-induzidos.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2023.

BRASIL. **Portaria nº 490, de 22 de março de 2021.** Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixe vivo.org.br/media/2021/03/PORTARIA-AN-490->

Estabelece-os-procedimentos-gerais-para-o-cumprimento....pdf. Acesso em: 18 nov. 2023.

BRUNI, J. C. **A água e a vida**. Tempo Social. Rev. Sociol. USP, SP. Pág. 56. 1993.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ts/a/KjkwytLhvpf5BJsRyDTFDrb/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 16 maio 2023.

CARVALHO, A. R; SCHLITTLER, F. H. M; e TORNISIELO, V. L. **Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água**. *Química Nova*, v. 23, n. 5, p. 618-622, 2000.

CBH VELHAS - **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. [2023?] Disponível em: <https://cbhvelhas.org.br/a-bacia-hidrografica-do-rio-das-velhas/> Acesso em: 12 mar. 2023.

CBH VELHAS - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas 2015: Resumo Executivo. Belo Horizonte: CBH Rio das Velhas, 2015**. 223 p. Disponível em: http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/bitstream/123456789/668/1/PDRH_VELHAS_Resumo_Executivo%20%282%29.pdf. Acesso em: 30 ago. 2023.

CEMADEN, 2015. **Relatório da Situação Atual e Projeção Hidrológica para o Sistema Cantareira**. Disponível em: http://www2.cemaden.gov.br/cantareira/arquivos/Relatorio_SistemaCantareira_20150513.pdf. Acesso em: 31 maio 2023.

COPASA – **Companhia de Saneamento de Minas Gerais**. 2019. Disponível em: <https://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/a-copasa/area-de-atuacao>. Acesso em: 08 set. 2023.

EUCLYDES et al. **Atlas Digital das Águas de Minas. Atualização dos estudos hidrológicos na bacia hidrográfica do rio das Velhas**. 2009. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/velhas/resumo_expandido.html . Acesso em: 22 abr. 2023.

FAORO, R. **Os donos do poder**. São Paulo: Publifolha, 2000. v. 1 e 2p. 448. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4254333/mod_resource/content/1/Raymundo%20Faoro%20-%20Os%20Donos%20do%20Poder.pdf . Acesso:14 abr. 2023.

FONSECA, A. de F. C.; PRADO FILHO, J. F. do. **Um importante episódio na história da gestão dos recursos hídricos no Brasil: o controle da Coroa Portuguesa sobre o uso da água nas minas de ouro coloniais**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 11 n.3, p. 5-14, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n3.p5-14>. Acesso em:14 abr. 2023.

GRASSI, M. T. **As águas do Planeta Terra**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, v.1, n.1, p.31-40, 2001. Disponível em: <https://azdoc.tips/documents/as-aguas-do-planeta-terra-5c1227ede1c07>. Acesso: 09 abr. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Estatística. **Censo Demográfico da cidade de Belo Horizonte**.

2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/belo-horizonte.html>. Acesso em 15 ago. 2023.

IDE – SISEMA. **Infraestrutura de dados espaciais**. Belo Horizonte. [2023?]. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 11 out. 2023.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Avaliação da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2020: resumo executivo anual**. Belo Horizonte: Igam, 2021. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/4001>. Acesso em: 30 ago. 2023.

IGAM. **Enquadramento dos Corpos de Água em Classes, segundo os usos preponderantes**. Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Belo Horizonte: Igam, 1997. Disponível em: https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/images/Enquadramento_SF5.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normas Climatológicas do Brasil 1991-2010**. Brasília. [2023?]. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 24 nov. 2023.

MINAS FERAIS. **DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM/CERH Nº1, DE 05 DE MAIO DE 2008**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.compe.org.br/estadual/deliberacoes/conjunta/1-2008.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

MINAS GERAIS. **DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM-CERH/MG Nº 8, DE 21 DE NOVEMBRO DE 2022**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521>. Acesso em: 29 set. 2023.

OECD. **The Polluter-Pays Principle Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 1972**. Disponível em: [https://one.oecd.org/document/OCDE/GD\(92\)81/En/pdf#:~:text=Under%20the%201972%20and%201974,is%20in%20an%20acceptable%20state%22](https://one.oecd.org/document/OCDE/GD(92)81/En/pdf#:~:text=Under%20the%201972%20and%201974,is%20in%20an%20acceptable%20state%22). Acesso em 20 maio 2023.

PEREIRA, V. R., RODRIGUEZ, D. A., COUTINHO, S. M. V., SANTOS, D. V., MARENGO, J. A.; **Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil**. Sustainability in Debate, v. 11, n. 3, p. 106-121, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33858> . Acesso em: 15 maio 2023.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Dossiê Água. Estud. Av. 22 (63). 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/ccyh4cf7NMdbpJdhSzCRNtR/> . Acesso em: 16 maio 2023.

PROFILL. Plano de Trabalho. **Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. 2022. ARMBH - Agência de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponível em: http://www.agenciarmbh.mg.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/ARMBH_RMBH_PSH_RF001_R01.pdf. Acesso em: 15 ago. 2023.

RODRIGUES, S. C.; e PRADO, I. M. M. **Agentes poluidores de águas**. *Arq. Apadec*, v. 8, n. 2, p. 40-45, 2004. Disponível em: <http://educem.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/view/20549/10785>. Acesso em: 9 abr. 2023.

SANTOS, A. C. D.; REIS, A.; MEDIONDO, E. M. **Segurança hídrica no Brasil: situação atual, principais desafios e perspectivas futuras**. *Revista DAE*. São Paulo. V.68, n. 225, pp 167-179. Ed. Esp. Set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.060>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. 2017. Acesso em: 10 nov. 2023.

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>. 2021. Acesso em: 01 out. 2023.

TRINDADE, A. L. C; ALMEIDA, K. C. B.; BARBOSA, P. E.; e OLIVEIRA, S. M. A. C. **Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais**. Artigo Técnico. *Eng. Sanit. Ambient.* 22 (01). 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/4n83rTXFZGHBc5Q5kL7cbcn/?lang=pt>. Acesso em: 10 jun. 2023.

TUCCI, C.E.M. 1997. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. (Col. ABRH de Recursos Hídricos, v.4).

UNECE, 2018. **Water scarcity: taking action in transboundary basins and addressing health impacts**. Disponível em: <https://unece.org/environment/news/water-scarcity-taking-action-transboundary-basins-and-addressing-health-impacts> . Acesso em: 01 jun. 2023

UNICEF. **Uma em cada cinco crianças em todo mundo não tem água para atender suas necessidades diárias**. 2021. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/uma-em-cada-cinco-criancas-em-todo-o-mundo-nao-tem-agua-suficiente> . Acesso em: 15 maio 2023.

UN-WATER, 2013. **Water Security and Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief**. Un University, Hamilton, ON. Disponível em: https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2017/05/analytical_brief_oct2013_web.pdf. Acesso em: 9 abr. 2023.

WMO. **The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century 26-31 January 1992**. Dublin, Ireland. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11125. Acesso em: 9 abr. 2023.